Nowość

NOWE Odkryć fizykę

ZMIANY W PODSTAWACH 2024

podręcznik w pełni dostosowany

3

PODRĘCZNIK • LICEUM • TECHNIKUM

ZAKRES PODSTAWOWY



nowa era

NOWE

Odkryć fizykę

3

PODRĘCZNIK • LICEUM • TECHNIKUM

ZAKRES PODSTAWOWY

MARCIN BRAUN
WERONIKA ŚLIWA

nowa era Twoje mocne strony

NOWE

Odkryć fizykę

Podręcznik dopuszczony do użytku szkolnego przez ministra właściwego do spraw oświaty i wychowania i wpisany do wykazu podręczników przeznaczonych do kształcenia ogólnego do nauczania fizyki, na podstawie opinii rzeczoznawców: **dr Marty Koplejewskiej**, **dr inż. Pauliny Sawickiej-Chudy**, **dr Izabeli Kraśnickiej**.

Zakres kształcenia: podstawowy
Etap edukacyjny: III
Typ szkoły: ponadpodstawowa (liceum ogólnokształcące i technikum)
Rok dopuszczenia: 2026

Numer ewidencyjny w wykazie MEN:1219/3/2026

Podręcznik przygotowano na podstawie *Programu nauczania fizyki w liceum ogólnokształcącym i technikum do zakresu podstawowego. NOWE Odkryć fizykę* autorstwa Marcina Brauna i Weroniki Śliwy.

Nabyta przez Ciebie publikacja jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy o przestrzeganie praw, jakie im przysługują. Zawartość publikacji możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym, ale nie umieszczaj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, to nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. Możesz skopiować część publikacji jedynie na własny użytek.

Szanujmy cudzą własność i prawo. Więcej na **www.legalnakultura.pl**

Wykorzystywanie treści niniejszego Utworu, w jakiejkolwiek formie lub w jakimkolwiek procesie, do celów eksploracji tekstu i danych, uczenia maszynowego, rozwoju i/lub szkolenia i/lub wzbogacania sztucznej inteligencji jakiegokolwiek rodzaju jest surowo zabronione.

Podczas prac redakcyjnych nad niektórymi fragmentami tej publikacji wspierano się narzędziami sztucznej inteligencji z zachowaniem najwyższych standardów wydawniczych.

© Copyright by Nowa Era Sp. z o.o. 2026
ISBN 978-83-267-5385-5

Opracowanie redakcyjne i redakcja merytoryczna: Dorota Brzozowiec-Dek.
Współpraca redakcyjna: Miłosz Budzyński, Ewa Rux. **Konsultacje merytoryczne:** Michał Matraszek.
Redakcja językowa: Dorota Rzeszewska. **Korekta językowa:** Aleksandra Hofman. **Fotoedycja:** Katarzyna Iwan-Malawska. **Nadzór artystyczny:** Ewa Kaletyn. **Opieka graficzna:** Marcin Oleksak, Maciej Galiński.
Projekt graficzny: Klaudia Jarocka. **Projekt okładki:** Maciej Galiński. **Opracowanie graficzne:** Zuzanna Sri.
Ilustratorzy: Ewelina Baran, Elżbieta Buczkowska, Rafał Buczkowski, Zuzanna Dudzic, Andrzej Dukata, Paulina Jarmusik, Klaudia Jarocka-Ciok, Adam Król, Laura Maziewska, Marek Nawrocki, Nikola Pelcer, Paulina Podolska, Joanna Ptak, Wojciech Sendal, Ewa Sowulewska, Justyna Studzyńska. **Infografiki:** Marek Błoszko, Franek Deyna, Laura Maziewska, Agata Muszalska, Marek Nawrocki, Marcin Oleksak, Marcin Ptak, Wojtek Sendal, Zuzanna Sri, Emilia Węgiel. **Realizacja projektu graficznego:** Adam Poczciwek.

Nowa Era Sp. z o.o.
Aleje Jerozolimskie 146 D, 02-305 Warszawa
www.nowaera.pl, e-mail: nowaera@nowaera.pl, Centrum Kontaktu tel. 58 721 48 00

Druk i oprawa:

Spis treści

7. Termodynamika

1. Cząsteczki i energia . . . 6
2. Pomiar i odczuwanie temperatury . . . 12
3. Rozszerzalność cieplna . . . 16
4. Ciepło właściwe . . . 23
5. Wyznaczanie ciepła właściwego . . . 28
6. Zmiany stanu skupienia . . . 34
7. Ciepło topnienia i ciepło parowania . . . 41
8. Pompy ciepła . . . 47
9. Zmiany temperatury Ziemi . . . 52
10. Ochrona klimatu . . . 58

Powtórzenie . . . 63
Zadania powtórzeniowe . . . 66
Projekt. Termopara . . . 70

8. Drgania i fale

11. Prawo Hooke'a . . . 72
12. Opis ruchu drgającego . . . 77
13. Wahadło sprężynowe . . . 82
14. Przemiany energii w ruchu drgającym . . . 87
15. Rezonans . . . 92
16. Fale mechaniczne . . . 97
17. Więcej o falach . . . 102
18. Fale dźwiękowe . . . 108
19. Fale elektromagnetyczne . . . 116

Powtórzenie . . . 123
Zadania powtórzeniowe . . . 126
Projekt. Barwa dźwięku . . . 130

9. Zjawiska falowe

20. Powierzchnie falowe. Odbicie fali . . . 132
21. Rozpraszanie fal . . . 139
22. Załamanie fali . . . 145
23. Całkowite wewnętrzne odbicie . . . 149
24. (F) Tęcza i halo . . . 155
25. Dyfrakcja . . . 162
26. Interferencja fal . . . 167
27. (F) Dyfrakcja i interferencja światła w przyrodzie . . . 175
28. Polaryzacja światła . . . 181
29. Efekt Dopplera . . . 186

Powtórzenie . . . 193
Zadania powtórzeniowe . . . 196
Analiza tekstu. Cywilizacja zgiełku . . . 199

10. Atomy i promieniowanie

30. Czym jest światło . . . 202
31. Skutki cząsteczkowej natury światła . . . 208
32. Czy elektron jest falą . . . 213
33. (F) Promieniowanie termiczne . . . 220
34. Widmo liniowe . . . 228
35. Oddziaływanie atomów ze światłem . . . 234
36. Budowa jądra atomowego . . . 241
37. Promieniowanie jądrowe . . . 247
38. Wpływ promieniowania na organizmy żywe . . . 252

Powtórzenie . . . 257
Zadania powtórzeniowe . . . 261
Projekt. Spektroskop . . . 264

11. Reakcje jądrowe: na Ziemi i w kosmosie

39. Reakcje jądrowe . . . 266
40. Czas połowicznego rozpadu . . . 273
41. Wykorzystanie czasu połowicznego rozpadu . . . 278
42. Energia jądrowa . . . 282
43. Energia syntezy termojądrowej . . . 290
44. Masa i energia . . . 294
45. Deficyt masy . . . 299
46. (F) Życie Słońca . . . 303
47. (F) Życie gwiazd – kosmiczna menażeria . . . 307
48. (F) Wszechświat . . . 313

Powtórzenie . . . 321
Zadania powtórzeniowe . . . 324
Analiza tekstu. Tlen odkryty w najdalszej znanej galaktyce . . . 327

Zbiór zadań

Termodynamika . . . 330
Drgania i fale . . . 334
Zjawiska falowe . . . 337
Atomy i promieniowanie . . . 342
Reakcje jądrowe: na Ziemi i w kosmosie . . . 345

Tabele . . . 351

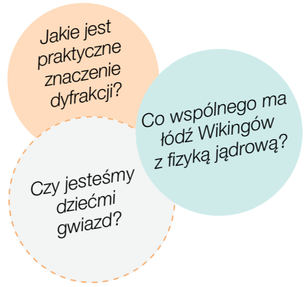
Indeks . . . 355

Odpowiedzi i wskazówki do wybranych zadań . . . 357

Literatura polecana . . . 366

O czym jest podręcznik

W podręczniku *NOWE Odkryć fizykę 3* znajdziesz ważne i ciekawe informacje dotyczące termodynamiki, drgań, fal, fizyki atomowej i fizyki jądrowej. Dzięki tym wiadomościom zrozumiesz wiele zjawisk z otaczającego cię świata.



Czemu służą poszczególne elementy podręcznika

Cele lekcji:

Przed każdym tematem dowiesz się, o czym będziesz się uczyć.

$v = \lambda f$

Dzięki czytelnym wyróżnieniom łatwo odnajdziesz **wzory**, **definicje** i **ważne informacje**.

Wybuch takiej bomby trwa...

Uwagi i **komentarze** ułatwią ci zrozumienie informacji zawartych w tekście głównym i w przykładach.

A to ciekawe **Z historii**

Dzięki ciekawostkom i infografikom historycznym poznasz interesujące fakty związane z lekcją.

F Naukowcy niepewność pomiaru wyznaczają...

Treści do decyzji nauczyciela.

Przypomnij sobie

Ten element pomoże ci powtórzyć treści znane ze szkoły podstawowej, klasy 1 i 2.

Powtórzenie

Tu znajdziesz najważniejsze wiadomości z działu.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE

Dzięki nim sprawdzisz stopień opanowania umiejętności i wiadomości z działu.

Pytania i zadania

Dzięki nim utrwalisz wiedzę i umiejętności z lekcji. Gwiazdką oznaczono zadania trudniejsze.

Przykład

Przykłady umożliwią ci prześledzenie toku rozumowania podczas rozwiązywania zadań.

Doświadczenie

Doświadczenie obowiązkowe

Czytelnie opisane i zilustrowane doświadczenia ułatwią ci ich przeprowadzanie i analizowanie. Doświadczenia obowiązkowe są wyróżnione.

Rozwiązania zadań zapisz w zeszycie.

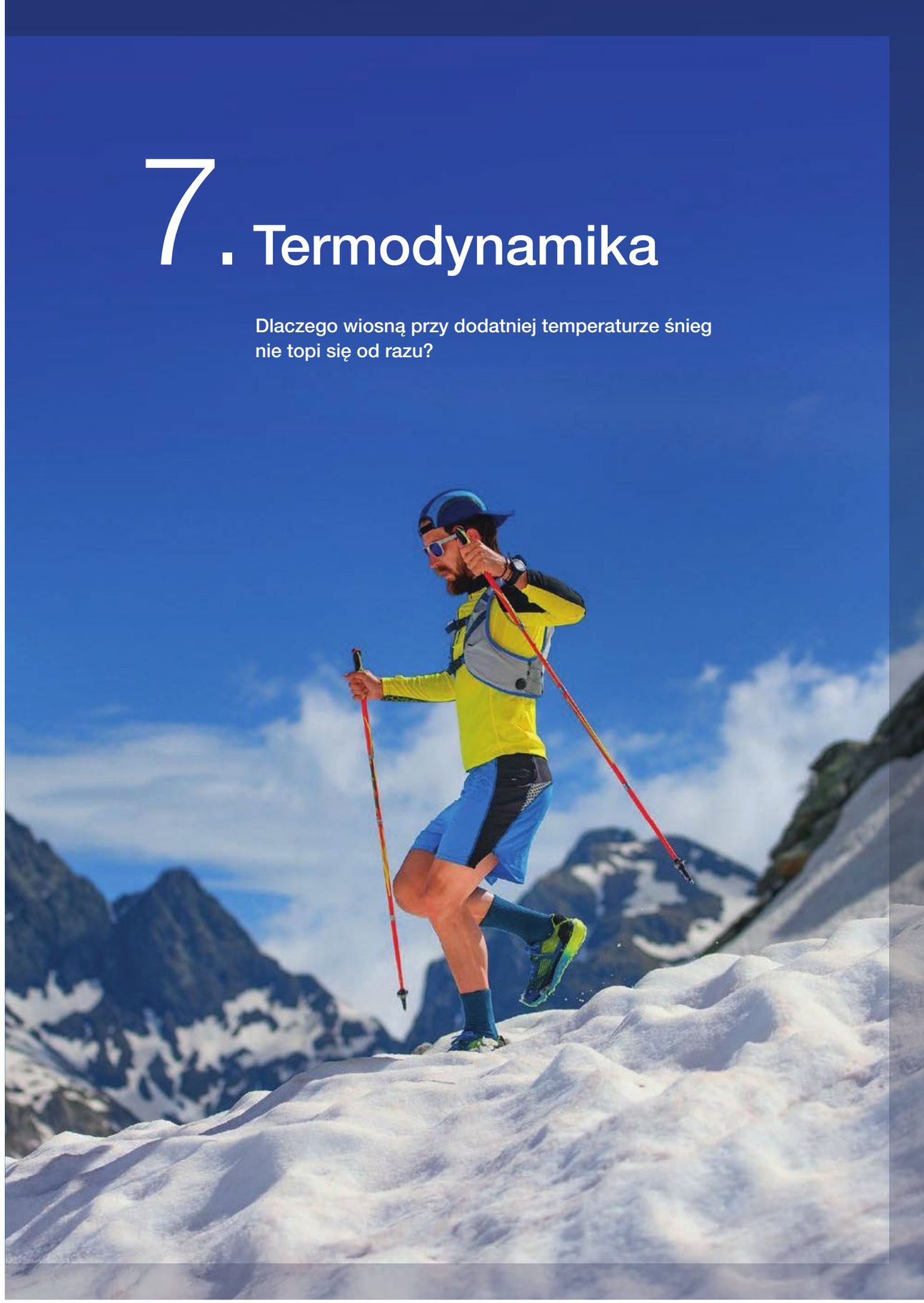
P Zadanie analogiczne do przykładu w lekcji. Symbol P1 oznacza przykład nr 1 itd.

Zadanie wykorzystujące informacje z infografiki.

Do poszukiwania danych lub filmowania przebiegu doświadczenia potrzebny ci będzie telefon, a do opracowania wyników pomiarów – komputer.

7. Termodynamika

Dlaczego wiosną przy dodatniej temperaturze śnieg nie topi się od razu?



1 Cząsteczki i energia



Spalanie paliwa w stalowych cylindrach silnika zachodzi w temperaturze ponad 2000°C, a stal topnieje już w temperaturze 1600°C. Dlaczego więc elementy silnika nie topią się w czasie pracy?

Cele lekcji:

- Przypomnisz sobie i uporządkujesz wiadomości o cząsteczkowej budowie ciał stałych, cieczy i gazów.
- Dowiesz się, jaki jest związek między ruchem cząsteczek a temperaturą.
- Nauczysz się odróżniać ciepło od temperatury.
- Nauczysz się stosować zasadę zachowania energii do zjawisk cieplnych.

O czym będziemy się uczyć

Pierwszym tematem naszych rozważań w klasie 3. będzie **termodynamika** – dział fizyki zajmujący się zjawiskami cieplnymi, czyli m.in. zmianami temperatury ciał, przepływem ciepła, zmianami stanu skupienia.
Wiele z tych zjawisk, np. wrzenie wody pod wpływem ogrzewania, znano już w czasach prehistorycznych. Dlaczego zatem ich natura została ostatecznie wyjaśniona dopiero w XIX w.?
Okazuje się, że choć te zjawiska obserwujemy na co dzień, to zrozumieć je możemy dopiero dzięki odwołaniu do cząsteczkowej budowy materii. Termodynamika pozwoliła nam nie tylko lepiej rozumieć przyrodę, lecz także budować lepsze silniki cieplne. Pierwsze maszyny parowe zamieniały w użyteczną pracę mniej niż 1% energii chemicznej węgla, dziś ich sprawność przekracza 50%.

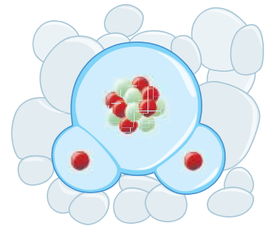


▲ Dzięki znajomości praw termodynamiki można budować silniki np. do samolotów

Cząsteczki i stan skupienia

Jak wiesz z lekcji fizyki i chemii, wszystkie ciała spotykane na co dzień składają się z atomów, które w wielu substancjach są połączone w cząsteczki.

- Cząsteczka wody H_2O składa się z dwóch atomów wodoru i jednego atomu tlenu. Lód i para wodna składają się z identycznych cząsteczek jak woda w stanie ciekłym, inne są tylko odległości między nimi i inaczej przebiega ruch tych cząsteczek (patrz ramka poniżej).
- Tlen w powietrzu występuje w postaci cząsteczek dwuatomowych O_2, natomiast hel – w postaci pojedynczych atomów.
- Żelazo składa się z pojedynczych atomów, niepołączonych w cząsteczki, a mówiąc ściślej – z dodatnich jonów oraz elektronów swobodnych.

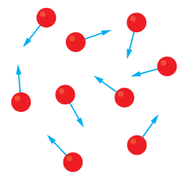
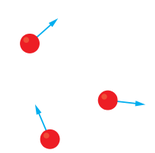


▲ Cząsteczka wody H_2O

Dalej dla uproszczenia będziemy mówili o „cząsteczkach ciała” również wtedy, gdy chodzi o pojedyncze atomy lub jony.

Cząsteczki a stan skupienia

Właściwości substancji w poszczególnych stanach skupienia zależą od odległości między cząsteczkami, ruchu tych cząsteczek oraz od ich wzajemnego oddziaływania.

	Ciało stałe	Ciecz	Gaz
Położenie cząsteczek			
Ruch i oddziaływania cząsteczek	Cząsteczki drgają wokół położeń równowagi. Siły oddziaływania między cząsteczkami są duże, a odległości między nimi – niewielkie.	Odległości między cząsteczkami są niewielkie. Cząsteczki oddziałują ze sobą słabiej niż w ciele stałym, dlatego poruszają się swobodnie po całej objętości cieczy.	Odległości między cząsteczkami są duże. Cząsteczki poruszają się swobodnie po całej objętości naczynia. Praktycznie nie oddziałują ze sobą, z wyjątkiem momentów zderzeń.
Zmiana objętości, zmiana kształtu	Ciało stałe ma określony kształt i określoną objętość (nie da się łatwo sprężać i rozprężać).	Ciecz zachowuje objętość, ale nie ma określonego kształtu – dostosowuje się do kształtu naczynia, w którym się znajduje.	Gaz nie ma ustalonej objętości ani kształtu – zawsze wypełnia całe naczynie, w którym się znajduje.

Temperatura

Cząsteczki stale się poruszają lub drgają, a zatem mają energię kinetyczną. Bardzo trudno byłoby bezpośrednio zmierzyć energię kinetyczną pojedynczej cząsteczki. Okazuje się jednak, że ma ona związek z wielkością fizyczną znaną nam z życia codziennego – temperaturą.

> Im szybciej poruszają się cząsteczki (im większa jest ich średnia energia kinetyczna), tym wyższa jest temperatura ciała.

Prędkość cząsteczek zależy nie od stanu skupienia, ale od temperatury ciała. W powietrzu o temperaturze 20°C jest zawarta para wodna o takiej samej temperaturze. Cząsteczki tej pary poruszają się tak samo szybko jak cząsteczki ciekłej wody w temperaturze 20°C.



▲ Do pomiaru temperatury wody można użyć termometru zaokiennego

Zero bezwzględne

Im niższa jest temperatura, tym wolniejszy jest ruch cząsteczek. Wynika stąd, że musi istnieć temperatura, w której cząsteczki w ogóle przestałyby się poruszać. Nazywamy ją **zerem bezwzględnym**. Wynosi ona –273,15°C.

Zera bezwzględnego nie da się osiągnąć, jednak fizykom udało się uzyskać temperaturę wyższą od niego zaledwie o bilionowe części stopnia.

Energia wewnętrzna

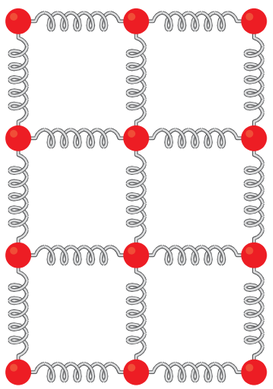
Ważnym pojęciem w tym dziale jest energia wewnętrzna.

> **Energia wewnętrzna** ciała to suma energii kinetycznej wszystkich cząsteczek ciała i energii związanej ze wzajemnym oddziaływaniem tych cząsteczek.

Jak rozumieć sformułowanie „energia związana z oddziaływaniami”?
Aby to zrozumieć, wyobraźmy sobie model, w którym oddziałujące na siebie cząsteczki zostały zastąpione przez kuleczki połączone sprężynkami (rys. obok).

- Gdy cząsteczki zbliżają się do siebie, zaczynają się odpychać, podobnie jak kulki połączone sprężyną.
- Gdy cząsteczki oddalają się od siebie, zaczynają się przyciągać – również tak jak kuleczki.

Aby pokonać siły przyciągania lub odpychania, trzeba wykonać pracę, którą następnie cząsteczki (albo kulki) mogą oddać, aby wrócić do zwykłego położenia. To znaczy, że z ich położeniem względem siebie jest związana pewna energia.



▲ Kulki połączone sprężynkami – model oddziaływań cząsteczek w ciele stałym

Ciepło i praca

Jak zmienić energię wewnętrzną ciała? Zgodnie z zasadą zachowania energii w tym celu trzeba albo dostarczyć energii do ciała, albo spowodować jej odpłynięcie z ciała. Sposobów dostarczania i odbierania energii jest bardzo wiele, ale można je podzielić na dwie główne kategorie: ciepło i pracę.

> Ciepło to przepływ energii wynikający z różnicy temperatur.

Zauważ, że jeśli dwa ciała mają taką samą temperaturę, to przepływ ciepła nie zachodzi – w takiej sytuacji mówimy o **równowadze termodynamicznej**.
Drugi sposób przekazywania energii to praca. Może to być np. praca mechaniczna lub praca prądu elektrycznego. W poniższym diagramie porównano ciepło i pracę.

Sposoby przekazywania energii

Ciepło	Praca
Przepływa zawsze od ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze	Nie ma związku z temperaturą ciał
Na przykład łyżka o temperaturze pokojowej rozgrzewa się wtedy, gdy włożymy ją do wrzątku, a chłodzi, włożona do zimnej wody	Na przykład siłą mięśni możemy przesunąć zarówno kostkę lodu, jak i szklankę z wrzątkiem

Pierwsza zasada termodynamiki

Energia dostarczona do ciała zgodnie z zasadą zachowania energii zmienia się w jego energię wewnętrzną. Ten fakt można sformułować w następujący sposób:

> Zmiana energii wewnętrznej ciała jest równa sumie energii dostarczonej przez wykonanie pracy nad ciałem i energii dostarczonej w postaci ciepła.

To prawo nazywa się **pierwszą zasadą termodynamiki**.



A to ciekawe

Meteor wpadający w atmosferę działa jak tłok – spręża przed sobą powietrze, więc rozgrzewa się ze względu na wykonywanie pracy, a nie dzięki dostarczeniu ciepła. Ponieważ w wysokiej temperaturze świeci, postrzegamy go jako „spadającą gwiazdę”.

Energia wewnętrzna a temperatura

Pamiętaj, że energia wewnętrzna i temperatura to dwie różne wielkości. W diagramie poniżej zwracamy uwagę na różnice w ich definicjach i podajemy przykłady zjawisk, na które te różnice mają wpływ.

Temperatura a energia wewnętrzna

Temperatura	**Energia wewnętrzna**
Związana **tylko** z energią kinetyczną cząsteczek.	Związana z energią kinetyczną cząsteczek **oraz** z energią ich wzajemnych oddziaływań.
Związana z energią **pojedynczej** cząsteczki.	Jest to łączna energia **wszystkich** cząsteczek.

Gdy złączymy dwie kostki lodu o jednakowej temperaturze –10°C:

temperatura powstałego ciała będzie także równa –10°C	energia wewnętrzna powstałego ciała będzie równa sumie energii obu kostek

Gdy lód o temperaturze 0°C topnieje i zmienia się w wodę o temperaturze 0°C:

temperatura powstałej wody będzie taka sama jak temperatura lodu, czyli 0°C.	energia wewnętrzna powstałej wody będzie większa niż energia wewnętrzna lodu. Dlatego aby stopić lód, trzeba dostarczyć energii.

Również na pytanie ze zdjęcia na górze strony 6 możemy odpowiedzieć dzięki rozróżnieniu temperatury i energii. Gazy w silniku mają wysoką temperaturę, ale nie oddają do cylindrów wystarczającej energii, aby spowodować ich stopienie.

To najważniejsze

- Cząsteczki w ciele stałym drgają wokół położeń równowagi, natomiast w cieczy i w gazie – poruszają się po całej objętości.
- W ciele stałym i w cieczy odległości między cząsteczkami są niewielkie. W gazie odległości te są duże.
- Im szybszy jest ruch cząsteczek, tym wyższa **temperatura** ciała.
- Zero bezwzględne to temperatura, w której ruch cząsteczek ustałby całkowicie.
- **Energia wewnętrzna** ciała to suma energii kinetycznej jego cząsteczek i energii oddziaływań międzycząsteczkowych. Można ją zmienić poprzez dostarczenie lub odebranie ciepła i poprzez wykonanie pracy.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Dobierz opis z ramki do każdej z podanych sytuacji. Jeden opis może pasować do wielu sytuacji.



A. Podczas hamowania rozgrzały się klocki hamulcowe w samochodzie.

B. Woda w szklance ostygła, gdy stała w lodówce.

C. Gdy mocno pocieramy ręce, czujemy ciepło.

I. zwiększenie energii wewnętrznej dzięki wykonaniu pracy
II. zmiana energii wewnętrznej dzięki przepływowi ciepła

2. Porównaj prędkości, z jakimi poruszają się cząsteczki opisanych ciał.

Określ, która z tych prędkości jest większa lub czy są one sobie równe.

a) kostka lodu o temperaturze 0°C i szklanka wody o temperaturze 0°C

b) kostka lodu o temperaturze –20°C i kostka lodu o temperaturze –10°C

c) kostka lodu o temperaturze –10°C i kra lodowa o temperaturze –10°C

3. Odpowiedz na pytania. Uzasadnij swoje odpowiedzi.

a) Czy zawsze gdy do ciała dostarczamy ciepło, powodujemy wzrost jego temperatury?

b) Czy zawsze gdy do ciała dostarczamy energię, powodujemy wzrost jego temperatury?

c) Czy aby zwiększyć temperaturę ciała, musimy do niego dostarczyć ciepło?

d) Czy aby zwiększyć temperaturę ciała, musimy do niego dostarczyć energię?

4. Dobierz z ramki uzupełnienia zdań. Zapisz w zeszycie całe uzupełnione zdania.



a) Gorąca woda ma //// niż zimna.

b) Płyta kuchenki elektrycznej dostarcza do garnka //// niż płomień zapałki, choć ma ////.

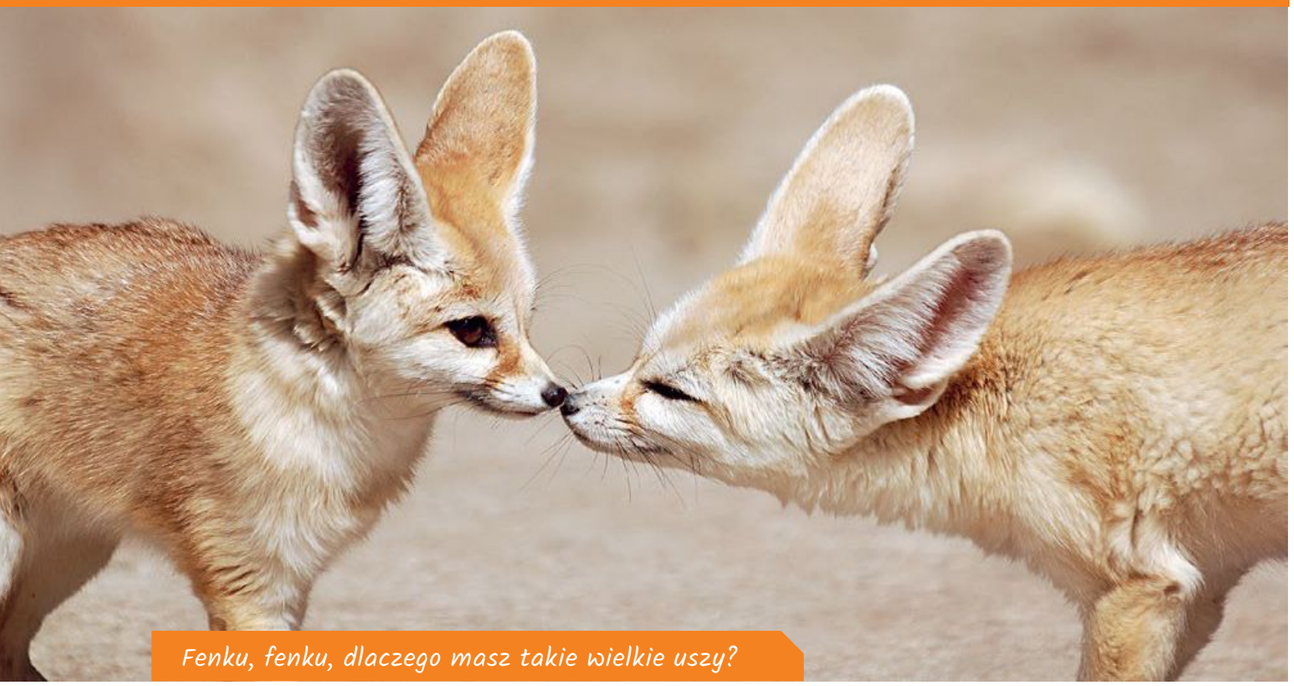
mniej ciepła • więcej ciepła • niższą temperaturę • wyższą temperaturę

5. Do garnka z gorącą wodą wrzucono dwie jednakowe stalowe śruby o masie 200 g każda. W rezultacie z wody do śrub przepłynęła energia 1800 J, co spowodowało ich ogrzanie o 10°C.

a) O ile zwiększyła się energia jednej śruby?

b) O ile zwiększyła się temperatura jednej śruby?

2 Pomiar i odczuwanie temperatury



Fenku, fenku, dlaczego masz takie wielkie uszy?

Cele lekcji:

- Poszerzysz swoją wiedzę na temat ciepła i temperatury.
- Zrozumiesz, dlaczego nasze zmysły nie zawsze pozwalają trafnie ocenić temperaturę.

Temperatura – ale jakiego ciała?

Wiesz już, że temperatura to wielkość związana z energią cząsteczek danego ciała. Wynika stąd ważny wniosek: gdy określamy tę wielkość, musimy powiedzieć, jakie konkretnie ciało ma podawaną przez nas temperaturę.
Gdy słyszymy: „Temperatura w Gdańsku dzisiaj w południe wynosiła 28°C", chodzi o **temperaturę powietrza**. Z pewnością w tym samym czasie woda w Zatoce Gdańskiej była znacznie chłodniejsza, a jeśli dzień był słoneczny, to asfalt mógł mieć nawet 50°C.



▲ Temperatura różnych ciał w tym samym czasie może być różna

A to ciekawe

Międzynarodowa Stacja Kosmiczna (ISS) znajduje się na wysokości ok. 400 km nad Ziemią. Temperatura na tej wysokości dochodzi nawet do 1000°C. Nie oznacza to jednak, że stację trzeba chronić przed gorącem. Taka wartość temperatury opisuje energię znajdujących się tam cząsteczek powietrza, a tych cząsteczek jest w otoczeniu stacji bardzo mało. Na zdjęciu polski astronauta Sławosz Uznański-Wiśniewski podczas transmisji z dokowania statku do ISS.



Przypomnij sobie...

SPOSOBY PRZEKAZYWANIA CIEPŁA

Ciepło to przepływ energii wywołany różnicą temperatur.
Może on następować na trzy sposoby.

Przewodnictwo cieplne:

przekazywanie ciepła **przez** substancję



Gdy dwa ciała się stykają, cząsteczki ciała o wyższej temperaturze przekazują część swojej energii cząsteczkom ciała o niższej temperaturze. W ten sposób ciało gorętsze się chłodzi, a chłodniejsze – ogrzewa.
Na zdjęciu ciepło z kawy przepływa do metalowego kubka, a z kubka – do śniegu. Kawa stygnie, a śnieg topnieje.

Konwekcja:

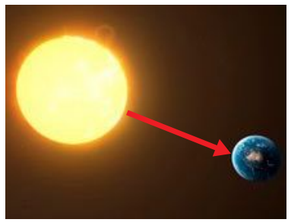
przekazywanie ciepła **razem z** substancją



Ciepła woda jest lżejsza od zimnej. Gdy przykładowo w czajniku podgrzewamy wodę, wtedy ciepła woda się unosi, a zimna – opada. W ten sposób temperatury się wyrównują.
Także ciepłe powietrze jest lżejsze od zimnego, więc się unosi, a na jego miejsce przypływa zimne. Tak powstaje wiatr.

Promieniowanie cieplne:

przekazywanie ciepła **bez** substancji



Każde ciało wytwarza promieniowanie cieplne (najczęściej jest to podczerwień, ale dla gorących ciał, takich jak Słońce – także światło widzialne czy nadfiolet). Promieniowanie to jedyny sposób przenoszenia ciepła przez próżnię, a więc np. ze Słońca na Ziemię.

Dlaczego niektóre substancje są w dotyku ciepłe, a inne – zimne?

Przedmioty metalowe wydają się chłodniejsze niż drewniane. Sprawdzimy w doświadczeniu, czy to odczucie rzeczywiście wynika z różnicy temperatur.

Doświadczenie 1.

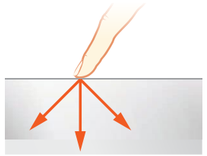
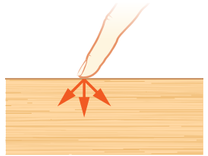
Badanie odczucia ciepła i zimna

1. Przygotuj dwie łyżki: metalową i drewnianą. Przed wykonaniem doświadczenia łyżki powinny leżeć co najmniej pół godziny w zacienionym miejscu (może to być szuflada). Przydatny będzie także termometr bezdotykowy.
2. Jeśli masz termometr, zmierz za jego pomocą temperatury łyżek.
3. Dotknij po kolei łyżek. Czy któraś z łyżek jest cieplejsza w dotyku?



Gdy łyżki leżały obok siebie, ich temperatura wyrównała się z temperaturą otoczenia. Potwierdza to pomiar termometrem. Jednak nasze odczucia są inne: metal wydaje się zimniejszy niż drewno. Wyjaśnienie przedstawia diagram.

Ciepłe i zimne w dotyku – różnica przewodnictwa cieplnego

Metale są **dobrymi przewodnikami ciepła**	Drewno jest **słabym przewodnikiem ciepła**
Gdy dotykamy metalu, z palca wypływa stosunkowo dużo ciepła 	Gdy dotykamy drewna, z palca wypływa bardzo mało ciepła 
Temperatura skóry palca spada o ułamek stopnia	Temperatura skóry się nie zmienia
Receptory w skórze przekazują do mózgu sygnał: jest zimno	Receptory w skórze nie przekazują do mózgu sygnału o obniżeniu temperatury

Co mierzy termometr

Termometr (poza bezdotykowym) mierzy własną temperaturę.
Jeśli chcemy, aby pokazywał temperaturę otoczenia, musimy zapewnić takie warunki, aby jego temperatura była równa temperaturze otoczenia (patrz zdjęcie).



▲ Gdy używamy cieczowego termometru lekarskiego, musimy poczekać, aż ogrzeje się on do temperatury ciała

Temperaturę powietrza mierzymy w cieniu

Powietrze jest przezroczyste, więc praktycznie nie pochłania promieni słonecznych. Dlatego temperatura powietrza w miejscu nasłonecznionym jest zwykle tylko minimalnie wyższa niż w cieniu.
My jednak w nasłonecznionym miejscu czujemy się tak, jakby było tam znacznie cieplej, ponieważ nasze ciała rozgrzewają się bezpośrednio od Słońca, a nie od powietrza. Również termometr rozgrzewa się bezpośrednio od Słońca i może wskazywać bardzo wysoką temperaturę, znacznie wyższą od temperatury powietrza.
Podobnie jaszczurki wygrzewają się w nasłonecznionym miejscu, aby się ogrzać powyżej temperatury otoczenia. Natomiast żyjący na pustyni fenek (patrz zdjęcie na początku lekcji) chłodzi się poniżej temperatury otoczenia, oddając ciepło przez promieniowanie, w czym pomagają mu wielkie i dobrze ukrwione uszy.

To najważniejsze

- Sposoby przekazywania ciepła to: przewodnictwo cieplne, konwekcja i promieniowanie.
- Część substancji dobrze przewodzi ciepło, np. metale, a część – znacznie słabiej, np. drewno.
- Temperaturę określamy zawsze dla konkretnego ciała.
- Większość termometrów wskazuje własną temperaturę, więc trzeba zadbać o to, aby była ona równa temperaturze interesującego nas ciała.
- Odczucie ciepła i zimna wynika z minimalnych zmian temperatury skóry na skutek odpływu albo dopływu ciepła.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. W doświadczeniu mieliśmy trzymać obie łyżki w tym samym zacienionym miejscu. Dlaczego w zacienionym?
2. Wyobraź sobie, że dotykasz drewnianej łyżki o temperaturze 50°C i metalowej łyżki o takiej samej temperaturze.
   a) W którą stronę teraz będzie przepływać ciepło: z dłoni do łyżki czy z łyżki do dłoni?
   b) W którym przypadku będzie przepływać więcej ciepła? Zilustruj to w podobny sposób jak na diagramie na s. 14.
   c) Która łyżka wyda się gorętsza w dotyku?
3. W gorący dzień w nasłonecznionym miejscu termometr wskazuje przez dłuższy czas 45°C. Pochłania on promieniowanie słoneczne z mocą 0,1 W (czyli pochłania 0,1 J w czasie każdej sekundy).
   a) Co można powiedzieć o temperaturze powietrza w tym miejscu?
   b) Jak szybko (czyli z jaką mocą) termometr oddaje ciepło do otoczenia?
4. Dwa termometry leżały obok siebie w nasłonecznionym miejscu. Jeden z nich wskazywał 20°C, a drugi 23°C. Skąd ta różnica? Termometry nie były wadliwe, a niepewność pomiaru każdym z nich wynosiła 1°C.



Doświadczenie domowe

Szybkość topnienia lodu

1. Przygotuj dwa talerzyki, dwie kostki lodu, tkaninę.
2. Na dwóch talerzykach połóż dwie jednakowe kostki lodu. Jedną owiń kilkoma warstwami tkaniny, drugą pozostaw nieowiniętą.
3. Jak myślisz, która kostka będzie szybciej topniała? Zapisz swoje przypuszczenia.
4. Gdy stopnieje połowa nieowiniętej kostki, odwiń drugą kostkę i porównaj ich wielkości. Sprawdź, czy twoje przypuszczenia były słuszne.
5. Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko.



3 Rozszerzalność cieplna



Dlaczego konstrukcję mostu montuje się tak, aby mogła się poruszać, zamiast sztywno przytwierdzić ją do podłoża?

Cele lekcji:

- Poznasz zjawisko rozszerzalności cieplnej.
- Nauczysz się demonstrować to zjawisko doświadczalnie.
- Dowiesz się, jakie znaczenie praktyczne ma rozszerzalność cieplna.

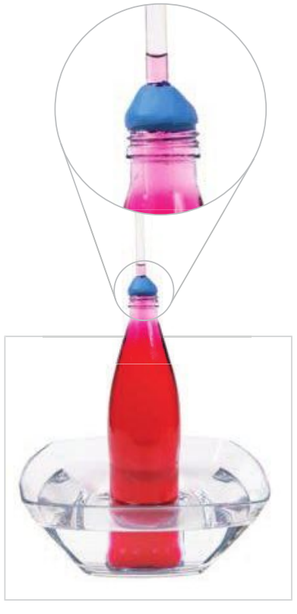
Rozszerzalność cieplna cieczy

Jak wiesz, trudno zmienić objętość ciała stałego lub cieczy przez sprężanie lub rozciąganie. Można jednak to uzyskać przez zmianę temperatury ciała. Na ogół ciała zwiększają swoją objętość podczas ogrzewania, dlatego mówimy o **rozszerzalności cieplnej** ciał. Wykonamy proste doświadczenie, aby zaobserwować to zjawisko.

Doświadczenie 2.

Badanie rozszerzalności cieplnej cieczy

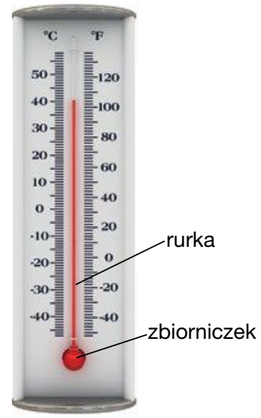
1. Przygotuj pustą szklaną butelkę, szklaną lub plastikową rurkę, plastelinę, miskę i barwnik, np. atrament lub tusz.
2. Napełnij butelkę do pełna zimną wodą i dodaj kilka kropli barwnika, aby poziom wody był lepiej widoczny.
3. Zanurz rurkę w wodzie mniej więcej do połowy wysokości i uszczelnij otwór butelki plasteliną.
4. Do miski nalej gorącej wody z kranu. Wstaw butelkę do miski i obserwuj zmianę poziomu wody w rurce. Co zauważasz?



Podczas podgrzewania wody w butelce poziom cieczy w rurce się podnosił, czyli objętość wody zwiększyła się na skutek podgrzania. Podobnie zachowują się inne ciecze.

> Na skutek wzrostu temperatury cieczy zwiększa się jej objętość. Gdy temperatura spada, objętość cieczy się zmniejsza. To zjawisko nazywamy **objętościową rozszerzalnością cieplną**.

Przyrost objętości jest różny w przypadku różnych cieczy. Gdy podgrzewamy wodę od 20°C do 25°C, jej objętość rośnie o ok. 0,1%. W tych samych warunkach przyrost objętości alkoholu etylowego jest pięć razy większy. Nasza butelka z rurką to model **termometru cieczowego**. Gdyby na rurce umieścić odpowiednią podziałkę, można by z niego odczytywać temperaturę.



▲ Termometr cieczowy. Rurka jest znacznie cieńsza od zbiorniczka, dzięki czemu łatwo obserwować zmiany temperatury

Nietypowe właściwości wody

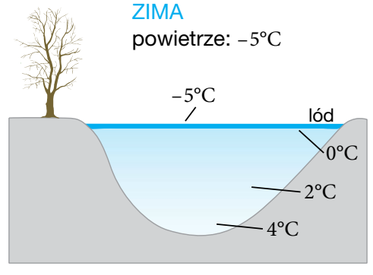
Fakt, że lód pływa po wodzie, wydaje nam się oczywisty. Tymczasem w przypadku większości substancji ciało stałe tonie w powstałej z niego cieczy. Można to łatwo zaobserwować na przykładzie stearyny (patrz zdjęcie). Nietypowa jest również rozszerzalność cieplna wody w niskich temperaturach. W doświadczeniu 2. sprawdziliśmy, że wraz z temperaturą woda się rozszerza, jednak badaliśmy ją w temperaturze pokojowej i wyższej. Okazuje się, że:



▲ Łatwo można sprawdzić, że stearyna w stanie stałym tonie w roztopionej stearynie

> Gdy wodę podgrzewamy od 0°C do 4°C, jej objętość maleje (woda się kurczy). Dopiero powyżej 4°C zaczyna się rozszerzać, tak jak inne ciecze.

Oznacza to, że określona masa wody ma najmniejszą objętość w temperaturze 4°C. A najmniejsza objętość substancji o tej samej masie oznacza największą gęstość. Woda o temperaturze 4°C jest cięższa niż w dowolnej innej temperaturze, a więc tonie zarówno w wodzie cieplejszej, jak i w chłodniejszej. Dzięki temu na dnie dostatecznie głębokich zbiorników wodnych stale znajduje się ciekła woda o temperaturze 4°C, co umożliwia przeżycie organizmom żywym (rys.). Gdyby woda miała właściwości podobne do innych substancji, to nawet głębokie jeziora szybko zamarzałyby aż do dna, ponieważ powstający na powierzchni lód by tonął.



▲ Zimą na dnie jeziora jest temperatura 4°C

Rozszerzalność cieplna gazu

Czy także gaz zwiększa swoją objętość pod wpływem temperatury?
Gdy podgrzewamy gaz w zamkniętym naczyniu, jego objętość nie może rosnąć, natomiast rośnie jego ciśnienie (patrz zdjęcie obok). Aby móc obserwować zmiany objętości gazu, musimy go zamknąć w naczyniu, w którym takie zmiany są możliwe (patrz ramka poniżej).

Objętościowa rozszerzalność cieplna gazu polega na zmianie jego objętości przy stałym ciśnieniu.

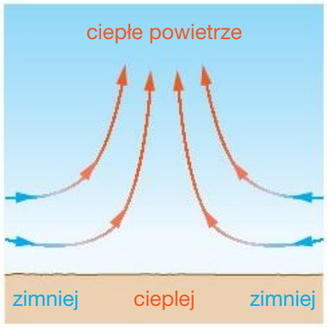
To zjawisko będziemy badać w doświadczeniu domowym na s. 22.



▲ Ciśnieniomierz pozwala mierzyć zmiany ciśnienia gazu przy ogrzewaniu i chłodzeniu

Rozszerzalność cieplna powietrza a jego unoszenie się

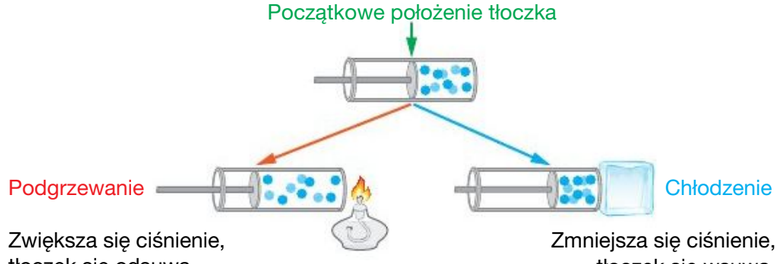
Skoro powietrze rozszerza się podczas ogrzewania, to jego gęstość się zmniejsza.
Właśnie dlatego rozgrzane powietrze unosi się do góry. W wielkiej skali unoszenie się ciepłego powietrza decyduje o zjawiskach w atmosferze Ziemi. Na miejsce ciepłego powietrza, które uleciało w górę, napływają masy powietrza z sąsiednich obszarów (patrz rys.). W ten sposób powstaje wiatr.
Dzięki wiatrom wyrównuje się temperatura różnych miejsc na Ziemi. Bez nich okolice biegunów byłyby jeszcze zimniejsze, a okolice równika – jeszcze gorętsze.



▲ Różnice temperatury powietrza powodują powstawanie wiatru

Rozszerzalność cieplna gazu

Aby obserwować, jak wraz ze zmianą temperatury zmienia się objętość gazu, możemy zamknąć go w cylindrze z ruchomym tłokiem, który porusza się bez tarcia. Wtedy tłok zawsze ustawia się tak, aby ciśnienie wewnątrz naczynia wyrównało się z ciśnieniem atmosferycznym.



Rozszerzalność cieplna ciał stałych

Ciała stałe także rozszerzają się pod wpływem wzrostu temperatury. Chociaż ten efekt jest niewielki, to jednak możemy go zaobserwować w doświadczeniu.

Doświadczenie obowiązkowe

Badanie rozszerzalności cieplnej ciała stałego

1. Przygotuj przewód miedziany o długości ok. 2 m (najlepiej bez izolacji, ewentualnie emaliowany), ciężką stalową nakrętkę oraz zapalniczkę.
   Uwaga. W pobliżu układu doświadczalnego nie mogą znajdować się żadne palne przedmioty.
2. Jeden koniec przewodu przywiąż do statywu umieszczonego na dużej wysokości lub np. do żyrandola.
3. Do drugiego końca przewodu przywiąż ciężką stalową nakrętkę. Nakrętka powinna znajdować się ok. 1 mm nad podłogą. Jeśli znajduje się wyżej albo jeśli podłoga jest nierówna, możesz podłożyć książki, a na nich gładką deskę do krojenia.
4. Porusz lekko nakrętkę, aby zaczęła się kołysać.
5. Ostrożnie podgrzewaj przewód płomieniem zapalniczki. Przesuwaj zapalniczkę wzdłuż przewodu, ponieważ długotrwałe podgrzewanie go w jednym miejscu może doprowadzić do jego stopienia i przerwania.
   Uwaga. Jeśli przewód jest emaliowany, emalia się zapali. Nie jest to gwałtowny płomień, ale należy zachować ostrożność.
6. Po chwili nakrętka zacznie trzeć o podłoże i przestanie się kołysać. To znak, że długość przewodu się zwiększyła.
7. Obserwuj następnie, co będzie się działo po zakończeniu podgrzewania przewodu.



Jak widzisz, przewód po ogrzaniu się wydłuża, a po ochłodzeniu – wraca do pierwotnej długości. Zmiana jest niewielka. W naszym doświadczeniu pomimo dużej różnicy temperatur udało się wydłużyć dwumetrowy przewód tylko o ok. 1 mm, co stanowiło zaledwie 0,05% jego długości. Dlatego na co dzień nie zauważamy rozszerzalności cieplnej większości ciał.
Mimo to rozszerzalność cieplna ciał stałych ma duże znaczenie praktyczne (patrz infografika s. 20–21).
Przyrost długości ciał stałych pod wpływem temperatury jest różny w przypadku różnych substancji:

- Pręt stalowy o długości 1 m po podgrzaniu o 10°C wydłuży się o 0,12 mm.
- Płyta z pleksi przy tej samej zmianie temperatury zwiększy swój rozmiar aż o 0,8 mm.



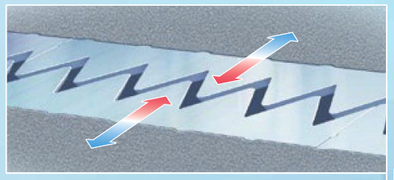
▲ Druciki w opiekaczu do grzanek wyraźnie zwiększają swoją długość podczas ogrzewania

ROZSZERZALNOŚĆ CIEPLNA CIAŁ STAŁYCH

Ciała stałe zmieniają swoje wymiary pod wpływem temperatury. To zjawisko wpływa na nasze codzienne życie. Trzeba je uwzględniać na przykład przy budowie mostów i kładzeniu szyn.

Szczeliny dylatacyjne w jezdni

Jezdnia mostu jest podzielona na odcinki, pomiędzy którymi znajdują się przerwy, zwane szczelinami dylatacyjnymi. Pozwalają one na zmianę długości mostu.

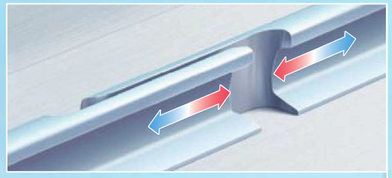


Legenda:



Złącze dylatacyjne w szynie

Podczas upałów szyny się wydłużają, a podczas mrozów – skracają, co może powodować ich wyginanie lub pękanie. Aby temu zapobiec, szyn nie łączy się na styk, ale stosuje np. złącza dylatacyjne.



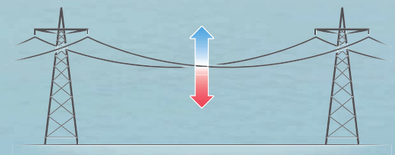
Ruchome przęsło

Przynajmniej jeden koniec przęsła mostu jest ruchomy i oparty na łożyskach tak, aby konstrukcja mogła zmieniać swoją długość w zależności od temperatury.

Dawniej stosowano m.in. łożyska ze stalowymi rolkami. Dziś używa się łożysk wykonanych z elastycznych tworzyw ulegających odkształceniom i/lub zawierających arkusze teflonu, który umożliwia przesuwanie przęsła. Takie nowoczesne łożyska mogą niwelować ruch i naprężenia we wszystkich kierunkach.

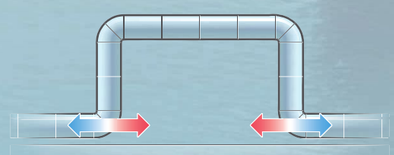
Zwisające przewody

Przewody wysokiego napięcia montuje się tak, aby zwisały luźno i nie ulegały zerwaniu podczas zimy.



Rury układane w literę U

Rury centralnego ogrzewania układa się tak, aby co pewien odcinek występowały kolanka w kształcie litery U. Dzięki temu mogą się wydłużać lub skracać wraz ze zmianami temperatury.



To najważniejsze

- Ciała **rozszerzają się** na skutek wzrostu temperatury.
- **Rozszerzalność cieplną cieczy** wykorzystujemy w termometrach cieczowych.
- Woda między 0°C a 4°C zmniejsza swoją objętość podczas ogrzewania. Dlatego taka temperatura utrzymuje się w głębi jeziora nawet podczas mrozów.
- **Rozszerzalność ciał stałych** jest niewielka, ale trzeba ją brać pod uwagę w projektach inżynieryjnych, np. podczas konstruowania i budowy mostów.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Czy minimalna wysokość h przewodu linii energetycznej nad ziemią (patrz zdjęcie) jest większa w lecie, czy w zimie? Dlaczego?



2. Producenci samochodów zalecają, aby ciśnienie powietrza w oponach mierzyć po kilkugodzinnym postoju. Dlaczego w czasie jazdy to ciśnienie może się zmienić? Jak się zmienia: rośnie czy maleje?

3. Określ, jaka była temperatura w jeziorze Wigry na głębokości 100 m:

a) 1 września 1939 r. o godzinie 4.45,

b) 4 czerwca 1989 r. o godzinie 12.00.

4. Dlaczego kaloryfery umieszcza się na ogół nisko nad podłogą, a klimatyzatory – wysoko?



5. Jeśli chcemy naprawić wgniecioną piłeczkę pingpongową, możemy ją wrzucić do gorącej wody. Wyjaśnij, jak przebiega to zjawisko. Czy wykorzystujemy w nim rozszerzalność cieplną tworzywa, z którego wykonano piłeczkę, czy też wypełniającego ją powietrza?

Doświadczenie domowe

Rozszerzalność cieplna powietrza

1. Przygotuj pustą plastikową butelkę, np. po wodzie mineralnej, dokładnie ją wysusz, a następnie zakręć.

2. Włóż butelkę na pół godziny do zamrażalnika. Co możesz zaobserwować?

3. Ogrzej butelkę pod strumieniem ciepłej wody z kranu. Jak teraz zmienia się objętość powietrza w butelce? Co możesz powiedzieć o tym zjawisku?



4 Ciepło właściwe



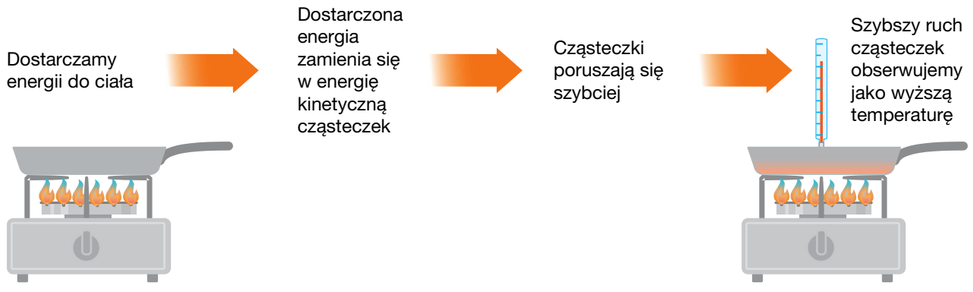
Czy jeśli woda w kociołku waży tyle samo, ile pusty kociołek, to połowa dostarczonego ciepła jest zużywana na podgrzanie kociołka?

Cele lekcji:

- Nauczysz się obliczać energię potrzebną do ogrzewania ciał.
- Dowiesz się, czym jest ciepło właściwe.
- Nauczysz się analizować wykresy przedstawiające zmiany temperatury.

Dlaczego podgrzewanie wymaga energii

Z życia codziennego wiesz, że aby zwiększyć temperaturę ciała, trzeba mu dostarczyć energii. Teraz możemy wyjaśnić ten fakt. Wyższa temperatura ciała oznacza, że jego cząsteczki poruszają się szybciej, a więc większa jest ich energia kinetyczna, która stanowi część energii wewnętrznej ciała. A zgodnie z zasadą zachowania energii aby energia wewnętrzna wzrosła, musimy ciału dostarczyć energii – zwykle w postaci ciepła, jak na rysunku poniżej, ale czasami w postaci pracy.
Przeanalizuj poniższy przykład.



▲ Dzięki dostarczonej energii patelnia się rozgrzewa

Co to jest ciepło właściwe

Ile konkretnie potrzeba energii, aby ogrzać określoną ilość substancji o daną liczbę stopni Celsjusza? Odpowiedź na to pytanie kryje się w pojęciu **ciepła właściwego**.

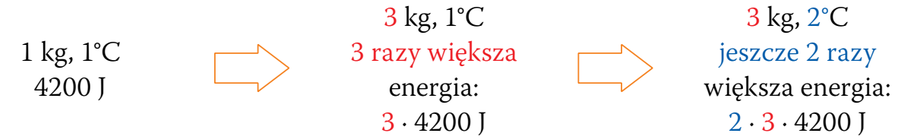
> **Ciepło właściwe** to wielkość określająca energię potrzebną do ogrzania 1 kg substancji o 1°C.

Przykładowo gdy mówimy, że ciepło właściwe wody wynosi 4200 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$ (czytamy: dżuli na kilogram i stopień Celsjusza), to znaczy, że energia potrzebna do podgrzania 1 kg wody o 1°C wynosi 4200 J.

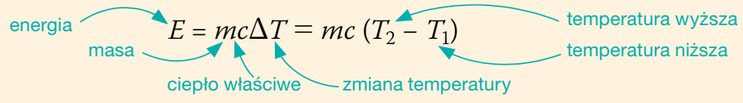
Uwaga. Energia potrzebna do ogrzania wody o 1°C w bardzo dobrym przybliżeniu jest niezależna od tego, czy ogrzewamy ją od 7°C do 8°C, czy od 34°C do 35°C – ważne jest tylko to, że temperatura ma wzrosnąć o tyle samo stopni.

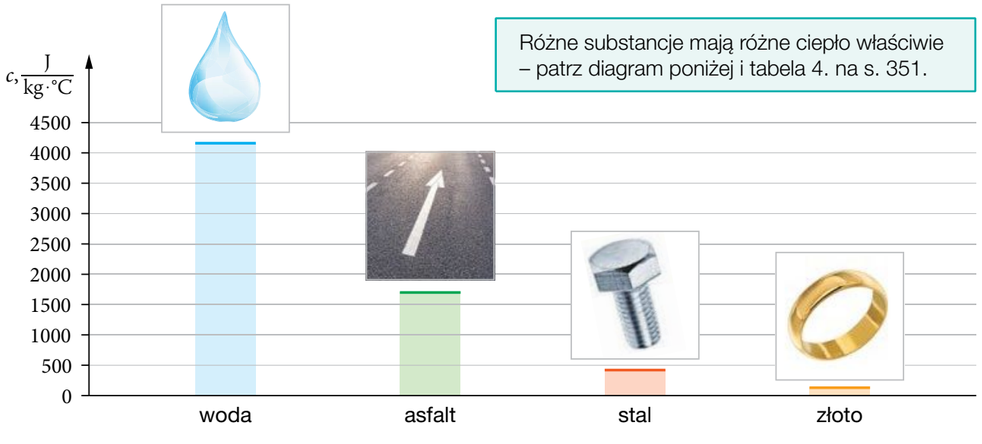
Obliczanie energii

Gdy masa substancji jest inna niż 1 kg lub gdy przyrost temperatury jest inny niż 1°C, możemy skorzystać z rozumowania przedstawionego na diagramie poniżej.



Zauważ, że mnożyliśmy ciepło właściwe przez masę (3 kg) i przez przyrost temperatury (2°C). Taki sposób obliczania można więc ogólnie opisać za pomocą wzoru:





Różne substancje mają różne ciepło właściwie – patrz diagram poniżej i tabela 4. na s. 351.

▲ Porównanie ciepła właściwego kilku substancji

Chłodzenie ciał

Gdy ciało ogrzewamy, dostarczamy mu energii, natomiast gdy ciało stygnie – oddaje **tyle samo** energii do otoczenia. Dlaczego tyle samo? Wynika to z zasady zachowania energii.
Tak więc z podanego wyżej wzoru możemy korzystać również do obliczania ciepła oddawanego przez stygnące ciało.

Przykład 1

Obliczanie energii oddawanej przez stygnące ciało

Oblicz, ile ciepła odda stalowy garnek o masie 500 g stygnący od 100°C do 20°C, a ile aluminiowy garnek o tej samej masie stygnący w takim samym przedziale temperatur.

Dane:
$m = 500\ \text{g} = 0{,}5\ \text{kg}$ – masa garnka
$T_1 = 20°\text{C}$ – temperatura niższa
$T_2 = 100°\text{C}$ – temperatura wyższa

Szukane:
$E = ?$ – energia oddana w postaci ciepła

Rozwiązanie:
Korzystamy ze znanego nam już wzoru na energię potrzebną do zmiany temperatury o ΔT:

$$E = mc\Delta T = mc(T_2 - T_1)$$

Ciepło właściwe stali i aluminium odczytujemy z tablic na końcu podręcznika s. 351:

$$c_\text{s} = 460\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}} \qquad c_\text{a} = 900\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$$

Podstawiamy dane liczbowe:

$$E_\text{s} = 0{,}5\ \text{kg} \cdot 460\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}} \cdot (100°\text{C} - 20°\text{C}) = 18\,400\ \text{J}$$

$$E_\text{a} = 0{,}5\ \text{kg} \cdot 900\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}} \cdot (100°\text{C} - 20°\text{C}) = 36\,000\ \text{J}$$

Odpowiedź: Stalowy garnek podczas stygnięcia odda 18 400 J energii, a aluminiowy 36 000 J.

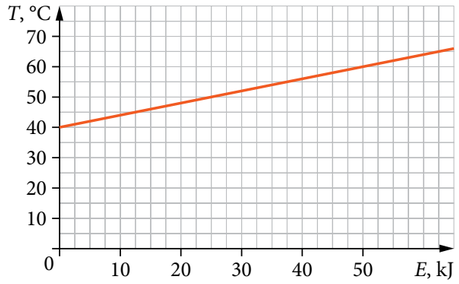
Ciepło właściwe a wykres zmiany temperatury

Jeśli zwiększanie się lub zmniejszanie temperatury określonej masy substancji w zależności od dostarczonej energii przedstawimy na wykresie, będzie on bardziej stromy dla substancji o mniejszym cieple właściwym, ponieważ podczas dostarczania ciepła temperatura takich substancji szybciej się zmienia.
Na podstawie tego typu wykresu można też wyznaczyć ciepło właściwe, tak jak to robimy w przykładzie na następnej stronie.

Przykład 2

Wyznaczanie ciepła właściwego na podstawie wykresu

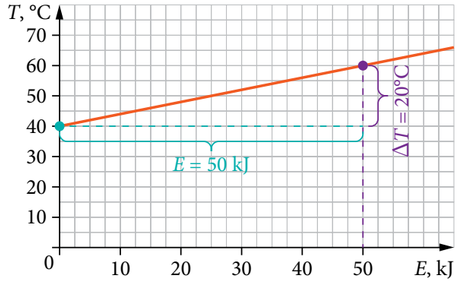
Na wykresie zilustrowano zależność temperatury od energii dostarczanej do próbki pewnej substancji o masie 2 kg. Wyznacz ciepło właściwe tej substancji.



Rozwiązanie:

Analizujemy wykres

- Na osi pionowej znajduje się temperatura w stopniach Celsjusza.
- Dwie kratki w pionie to 10°C, a więc jedna kratka to 5°C.
- Na osi poziomej znajduje się dostarczona energia, mierzona w **kilodżulach** (tysiącach dżuli).
- Cztery kratki w poziomie to 10 kJ, a więc jedna kratka to 2,5 kJ.



Odczytujemy współrzędne dwóch punktów

Znajdźmy teraz dwa punkty wykresu, których współrzędne łatwo odczytać: (0 kJ, 40°C) oraz (50 kJ, 60°C) (patrz rys.).

Z ich porównania wynika, że gdy próbka pobrała energię $E = 50$ kJ, ogrzała się o $\Delta T = 20°C$.

Ze wzoru na energię potrzebną do podgrzania ciała:

$$E = mc\Delta T$$

możemy wyznaczyć ciepło właściwe:

$$c = \frac{E}{m\Delta T}$$

Podstawiamy dane liczbowe:

$$c = \frac{50\,000\ \text{J}}{2\ \text{kg} \cdot 20°\text{C}} = 1250\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$$

Odpowiedź: Ciepło właściwe tej substancji wynosi 1250 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$.

To najważniejsze

- **Ciepło właściwe** danej substancji to wielkość określająca energię potrzebną do ogrzania 1 kg tej substancji o 1°C. Na przykład ciepło właściwe żelaza 450 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$ oznacza, że do podgrzania 1 kg żelaza o 1°C potrzeba 450 J energii.
- **Energię potrzebną do ogrzewania ciała** albo **wydzielającą się przy jego stygnięciu** obliczamy ze wzoru $E = mc\Delta T$, gdzie m – masa ciała, c – ciepło właściwe substancji, z której zostało ono wykonane, ΔT – zmiana temperatury.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. Pomiń straty ciepła. Skorzystaj z tabeli na s. 351 lub tablic fizycznych.

1. Chcemy ogrzać cztery próbki substancji, którymi są odpowiednio: 100 g wody, 100 g miedzi, 100 g złota i 100 g żelaza. W każdym przypadku przyrost temperatury ma wynosić 10°C.

Najwięcej energii potrzebujemy, aby ogrzać:

A. wodę. **C.** złoto.
B. miedź. **D.** żelazo.

2. Do każdej z próbek wody, miedzi, złota i żelaza o takich samych masach dostarczyliśmy 1000 J energii. Najbardziej ogrzała się próbka:

A. wody. **C.** złota.
B. miedzi. **D.** żelaza.

3. P1 Oblicz, ile ciepła odda stalowy kubek o masie 200 g wraz ze znajdującą się w nim wodą o masie 250 g, gdy chłodzą się od temperatury 80°C do 20°C.

4*. Aluminiowa łyżeczka szybciej rozgrzewa się, włożona do herbaty, niż stalowa łyżeczka tej samej wielkości. Dlaczego?

5. Oblicz, ile energii potrzeba, aby podgrzać każdy z wymienionych przedmiotów o 5°C.

a) złota obrączka o masie 3 g



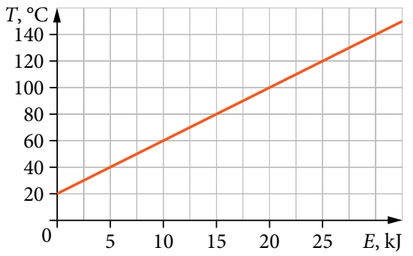
b) kostka lodu o masie 10 g



c) miedzioniklowa moneta 1 zł o masie 5 g



6. P2 Na wykresie zilustrowano zależność temperatury od energii dostarczanej do próbki pewnego metalu o masie 280 g. Oblicz ciepło właściwe tej substancji. Sprawdź w tablicach, jaki to mógł być metal.



5 Wyznaczanie ciepła właściwego



Kolektor słoneczny czy panel fotowoltaiczny – co wybrać?

Cele lekcji:

- Wyznaczysz ciepło właściwe wody.
- Nauczysz się stosować wiedzę z fizyki do rozwiązywania praktycznych problemów dotyczących ogrzewania.
- Poznasz różne sposoby wykorzystania energii Słońca.

Wyznaczanie ciepła właściwego

Wiesz już, że ciepło właściwe wody wynosi 4200 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$. Ale skąd to wiadomo? Okazuje się, że pomiar ciepła właściwego wody lub innej cieczy nie jest skomplikowany. Wykonamy teraz takie doświadczenie.

Doświadczenie obowiązkowe

Wyznaczanie ciepła właściwego

1. Przygotuj czajnik elektryczny, stoper i termometr. Przydatny może być także watomierz.

   Uwaga. Jeśli nie masz termometru laboratoryjnego, możesz użyć termometru do pomiaru temperatury powietrza za oknem, musisz tylko ostrożnie wyjąć go z obudowy, tak aby zbiorniczek z cieczą znajdował się na wierzchu (patrz zdjęcie A).
2. Do czajnika elektrycznego wlej 1 litr wody. Włącz czajnik na 10 s, wyłącz go i wymieszaj wodę. Zmierz jej temperaturę.
3. Włącz czajnik na 1 minutę.



4. Zamieszaj wodę termometrem i zmierz jej temperaturę. Odczytaj największą wartość, jaką wskaże termometr, zanim słupek cieczy zacznie opadać.
5. Jeśli masz watomierz (patrz zdjęcie B), możesz bezpośrednio odczytać, jaką energię elektryczną czajnik pobrał z sieci. Jeśli nie masz takiego miernika – możesz tę energię obliczyć na podstawie mocy urządzenia podanej na tabliczce znamionowej.
6. Oblicz ciepło właściwe wody. Pomiń straty energii.



Opracowanie wyników pomiarów

Przedstawimy teraz, jak obliczyć ciepło właściwe na podstawie naszych wyników pomiarów. W podobny sposób opracuj własne wyniki.
W tabeli podano wielkości zmierzone przez nas w doświadczeniu.

Tabela. Wyniki pomiarów

Masa wody	m	1 kg
Czas podgrzewania	t	60 s
Temperatura początkowa wody	T_1	23°C
Temperatura końcowa wody	T_2	53°C
Moc czajnika (wg producenta)	P	2200 W

Obliczmy energię dostarczoną do wody. Ponieważ pomijamy straty energii (np. na ogrzewanie obudowy czajnika i parowanie), zakładamy, że jest ona równa całej energii pobranej z sieci elektrycznej przez czajnik.
Wzór na moc $P = \frac{E}{t}$ przekształcamy do postaci $E = Pt$. Po podstawieniu danych otrzymujemy:

$$E = 2200\ \text{W} \cdot 60\ \text{s} = 132\,000\ \text{J}$$

Sprawdzamy jednostki:

$$[E] = \text{W} \cdot \text{s} = \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot \text{s} = \text{J}$$

Przyrost temperatury wynosił:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 53^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C} = 30^\circ\text{C}$$

Ze wzoru na energię potrzebną do podgrzania ciała:

$$E = mc\Delta T$$

wyznaczamy ciepło właściwe:

$$c = \frac{E}{m\Delta T}$$

Podstawiamy wartości liczbowe:

$$c = \frac{132\,000\ \text{J}}{1\ \text{kg} \cdot 30^\circ\text{C}} = 4400\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Nasz wynik jest więc tylko o kilka procent większy od tablicowego. Porównaj swój wynik z tablicową wartością ciepła właściwego wody (tabela 4. na s. 351).

Ciepło właściwe wody a koszt jej podgrzewania

Obliczanie energii potrzebnej do podgrzania wody jest ważne nie tylko na lekcjach fizyki, lecz także przy planowaniu wydatków na energię.
W cennikach firm energetycznych cena energii bywa podana w gigadżulach albo kilowatogodzinach. Przypomnijmy więc te jednostki:

$$1\ \text{GJ} = 1\,000\,000\,000\ \text{J} = 10^9\ \text{J} \qquad 1\ \text{kWh} = 3\,600\,000\ \text{J} = 3{,}6\ \text{MJ}$$

ponieważ 1 kWh to energia dostarczana przez urządzenie o mocy 1 kW (czyli 1000 W) pracujące przez 1 godzinę (czyli 3600 s), a więc:

$$1\ \text{kWh} = 1000\ \text{W} \cdot 3600\ \text{s} = 3\,600\,000\ \text{J}$$

Przykład

Obliczanie kosztów energii elektrycznej



W pewnym domu codziennie zużywa się 200 litrów ciepłej wody użytkowej. Jest ona podgrzewana w elektrycznym bojlerze od temperatury 10°C do 50°C.

a) Ile energii zużywa dziennie bojler?

b) Ile kosztuje zużyta energia elektryczna? Przyjmij cenę 1,20 zł za 1 kWh. Ile to złotych rocznie?

Dane:
m = 200 kg – masa wody (litr wody ma masę 1 kg)
T_1 = 10°C – temperatura początkowa
T_2 = 50°C – temperatura końcowa

Szukane:
E = ?
opłata za wodę = ?

Rozwiązanie:

a) Energię możemy obliczyć ze wzoru $E = mc\Delta T$, gdzie różnica temperatur to:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 50°\text{C} - 10°\text{C} = 40°\text{C}$$

a ciepło właściwe wody $c = 4200\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$ znajdujemy w tablicach. Zatem energia wynosi:

$$E = 200\ \text{kg} \cdot 4200\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}} \cdot 40°\text{C} = 33\,600\,000\ \text{J} = 33{,}6\ \text{MJ}$$

b) Aby obliczyć koszt energii, musimy zamienić ją na kilowatogodziny:

$$E = \frac{33\,600\,000}{3\,600\,000}\ \text{kWh} \approx 9{,}33\ \text{kWh}$$

Opłata wyniesie więc:

$$9{,}33 \cdot 1{,}20\ \text{zł} = 11{,}20\ \text{zł}$$

W roku (nieprzestępnym) jest 365 dni, a więc zapłacimy:

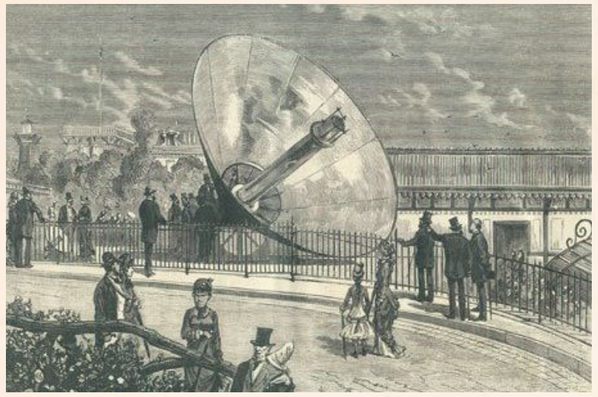
$$365 \cdot 11{,}20\ \text{zł} = 4088\ \text{zł}$$

Odpowiedź: Bojler zużyje dziennie 33,6 MJ, czyli 9,33 kWh energii elektrycznej, za którą zapłacimy 11,20 zł. Roczny koszt podgrzewania wody to ok. 4100 zł.

Z historii

Zaprząc Słońce do pracy

Energetyka słoneczna kojarzy nam się z najnowszymi wynalazkami. Jednak już w XIX w. budowano maszyny parowe, w których źródłem ciepła były promienie słoneczne.

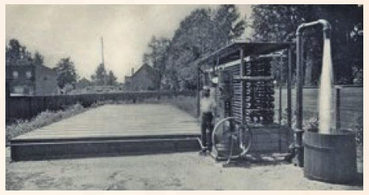


Francuski wynalazca Augustin Mouchot (czyt. ogist**ę** musz**o**) zbudował pierwszą taką maszynę już w 1866 r., a na wystawie światowej w 1878 r. zaprezentował udoskonalony model (patrz rysunek). Urządzenie wykorzystywało promienie słoneczne skupione za pomocą wielkiego zwierciadła. Jego maszyna napędzała maszynę drukarską.

Podobne urządzenia budowano później w południowej części USA, przede wszystkim do napędzania pomp nawadniających ziemię uprawną.

Inne rozwiązanie wynalazł Frank Shuman. Zrezygnował on z kosztownych zwierciadeł wklęsłych i ogrzewał wodę w swego rodzaju szklarniach. Shuman planował zbudować ogromne maszyny do nawadniania ziemi w Egipcie i Sudanie. Niestety, wybuch I wojny światowej przerwał jego prace. Później tania wówczas ropa naftowa wyparła maszyny słoneczne.

Ale to nie był koniec! Przeciwnie, w ostatnich latach, gdy paliwa kopalne stały się drogie i gdy znamy ich niekorzystny wpływ na klimat, buduje się coraz więcej nowych elektrowni cieplnych zasilanych promieniami Słońca.





▲ We współczesnych słonecznych elektrowniach cieplnych tysiące płaskich luster kierują światło słoneczne na kocioł umieszczony na wieży

Jak przechowywać energię?

Podstawowym problemem wykorzystania energii słonecznej do dziś jest fakt, że jest ona dostępna tylko w pogodne dni. Wynalazcy słonecznych maszyn parowych mieli różne rozwiązania.

- Mouchot chciał rozkładać wodę na tlen i wodór za pomocą energii elektrycznej.
- Shuman zbudował maszynę parową pracującą pod ciśnieniem znacznie niższym od atmosferycznego. Pod takim ciśnieniem nawet woda, która częściowo ostygła, wrze i napędza turbinę.
- W nowoczesnych elektrowniach solarnych Słońce rozgrzewa stopioną sól do temperatury kilkuset stopni Celsjusza. Sól w stanie ciekłym oddaje ciepło znacznie wolniej niż woda i dzięki zmagazynowanej energii może podtrzymywać pracę elektrowni przy zachmurzonym niebie.

Wykorzystanie energii słonecznej

Energię słoneczną wykorzystujemy na dwa główne sposoby.

Urządzenia korzystające z energii Słońca

Kolektory słoneczne
(potocznie zwane solarami)



Służą do podgrzewania wody użytkowej, wykorzystywanej do mycia i zmywania.

W warunkach domowych nie wykorzystujemy uzyskanej energii do innych celów.

Panele fotowoltaiczne
(zwane bateriami słonecznymi)



Wytwarzają energię elektryczną.

Uzyskaną energię elektryczną można wykorzystać do zasilania dowolnych urządzeń.

Koszt kupna i instalacji kolektorów słonecznych jest znacznie niższy niż paneli fotowoltaicznych.

Ogrzewanie wody grzejnikiem zasilanym z paneli fotowoltaicznych także jest możliwe, ale wiąże się z dużymi stratami energii podczas wytwarzania prądu w panelach.

Czy lepiej więc wybrać kolektory słoneczne czy panele fotowoltaiczne? Najlepiej jedno i drugie: kolektory do ogrzewania wody, a panele do zasilania innych urządzeń. Jeśli jednak musimy wybierać, warto zacząć od obejrzenia rachunków za prąd, gaz i ciepłą wodę z miejskiej ciepłowni, aby się przekonać, co kosztuje nas najwięcej.

To najważniejsze

- Ciepło właściwe cieczy można wyznaczyć na podstawie pomiaru energii elektrycznej potrzebnej do jej podgrzania.
- Przy obliczaniu kosztu energii potrzebnej do podgrzania wody zwykle musimy przeliczyć potrzebne ciepło na kilowatogodziny.
- Energię słoneczną można wykorzystywać do podgrzewania zimnej wody w kolektorach słonecznych i do wytwarzania energii elektrycznej w panelach fotowoltaicznych.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Próbkę pewnej cieczy o masie 2000 g podgrzaliśmy o 28°C kosztem energii dostarczonej przez mały czajnik elektryczny o mocy 800 W, pracujący przez 2 min 6 s. Oblicz ciepło właściwe tej cieczy.

2. O ile stopni podgrzejemy 2 litry wody w czajniku elektrycznym o mocy 1200 W, jeśli włączymy go na minutę?

3. P W pewnym domu codziennie zużywa się 300 litrów ciepłej wody do celów użytkowych. Jest ona podgrzewana w elektrycznym bojlerze od temperatury 5°C do 50°C. Ile energii i ile pieniędzy dziennie można zaoszczędzić, jeśli wodę wstępnie podgrzejemy kosztem energii słonecznej z 5°C do 20°C?

Przyjmij cenę energii elektrycznej 1,20 zł za 1 kWh.

4. i Zapoznaj się z infografiką na s. 31.

a) Maszyna Mouchota (czyt. muszota) miała moc pół konia mechanicznego. Ile to watów?

b) Shuman planował zbudować maszynę o mocy 10 000 koni mechanicznych. Ile to megawatów?

c) Znajdź aktualne informacje o wykorzystaniu energii słonecznej do napędzania silników cieplnych w elektrowniach (ang. *solar thermal power*).

5. Oprócz przedstawionych w lekcji sposobów bezpośredniego wykorzystania energii słonecznej istnieją także inne, pośrednie. Wyjaśnij, dlaczego elektrownie wodne, wiatrowe, a nawet węglowe korzystają pośrednio z energii dostarczonej przez Słońce.



6 Zmiany stanu skupienia



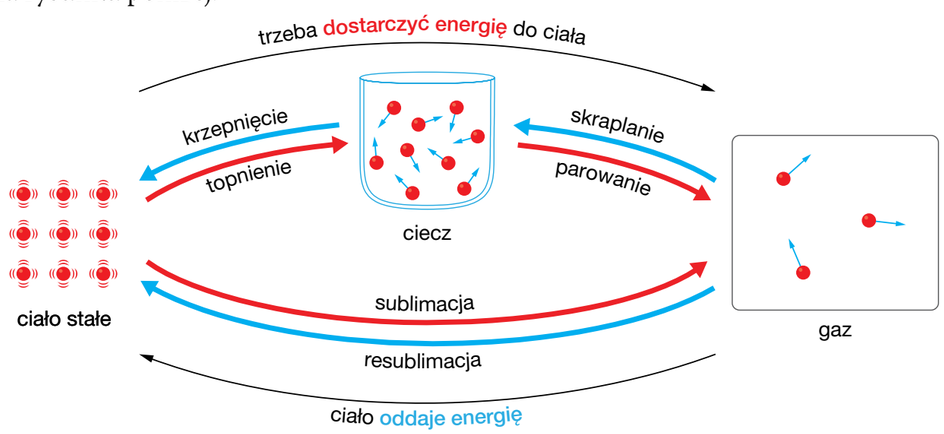
Dlaczego za samolotami pozostają na niebie smugi?

Cele lekcji:

- Przypomnisz sobie podstawowe wiadomości o zmianach stanu skupienia ciał.
- Zbadasz, jak zachowuje się temperatura lodu podczas topnienia.
- Dowiesz się więcej o przepływie energii podczas zmian stanu skupienia.

Zmiany stanu skupienia materii

Jak wiesz z życia codziennego i ze szkoły podstawowej, substancje występujące w przyrodzie mogą istnieć w trzech podstawowych stanach skupienia: stałym, ciekłym i gazowym. Zmiany stanów skupienia mają swoje nazwy, które przypominamy na rysunku poniżej.



▲ Zmiany stanów skupienia (przemiany fazowe)

Ponieważ stan skupienia nazywamy także **fazą**, opisane na diagramie przemiany noszą nazwę **przemian fazowych**.

Przykłady sublimacji i resublimacji

Wśród przemian wymienionych na schemacie na s. 34 zwróćmy uwagę na bezpośrednie przemiany między ciałem stałym a gazem – **sublimację** i **resublimację**.
Oto przykłady tych zjawisk:

- Suchy lód, czyli dwutlenek węgla w stanie stałym, nie topnieje, ale bezpośrednio zmienia się w gaz – zachodzi sublimacja.
- Szron powstaje, gdy zawarta w powietrzu para wodna resublimuje, czyli zmienia się bezpośrednio w lód (patrz zdjęcie B).





▲ Zarówno szadź A, jak i szron B to osady lodu. Jednak szadź powstaje przez krzepnięcie kropelek wody, a szron przez resublimację pary wodnej

Temperatura wody z lodem

Zbadajmy teraz doświadczalnie proces topnienia lodu.

Doświadczenie 3.

Pomiar temperatury podczas topnienia lodu

1. Przygotuj kostki lodu (20 sztuk), woreczek foliowy, tłuczek do mięsa, deskę do krojenia, kubek i termometr.
   Uwaga. Jeśli nie masz termometru laboratoryjnego, patrz s. 28.
2. Włóż kostki lodu do woreczka i rozbijaj je tłuczkiem na desce, aż lód stanie się miękką masą.
3. Wrzuć potłuczony lód do kubka i nalej trochę wody. Wymieszaj. Zanurz termometr i obserwuj jego wskazania aż do całkowitego stopienia się lodu.



Jak widzimy w doświadczeniu, mieszanina wody i lodu ma przez cały czas topnienia lodu temperaturę 0°C. Taką temperaturę mają zarówno woda, jak i lód.

W temperaturze 0°C woda może istnieć zarówno w postaci cieczy, jak i ciała stałego (lodu).

Zmiana stanu skupienia a przepływ energii

Skoro w temperaturze 0°C może istnieć zarówno lód, jak i ciekła woda, to od czego zależy, czy woda krzepnie (zamarza), czy też lód topnieje? Otóż wynika to z przepływu energii.

Woda i lód mają 0°C

Jeśli do wody z lodem dostarczamy energii, to **lód topnieje**	Jeśli z wody z lodem zabieramy energię, to **woda krzepnie**	Jeśli energii ani nie dostarczamy, ani nie zabieramy, to woda pozostaje wodą, a lód – lodem

Przepływ energii najczęściej zależy od temperatury otoczenia

otoczenie ma ponad 0°C	otoczenie ma mniej niż 0°C	otoczenie ma 0°C
 energia dopływa → lód topnieje	 energia odpływa → woda krzepnie (zamarza)	 energia nie przepływa → nic się nie dzieje

Tak więc zdanie: „Lód topnieje wtedy, gdy temperatura jest dodatnia", jest nieścisłe. Powinniśmy powiedzieć: „Lód topnieje wtedy, gdy temperatura **otoczenia** jest dodatnia", ponieważ temperatura samego topniejącego lodu jest równa zeru. To przykład ogólnej reguły, że powinniśmy mówić zawsze o temperaturze konkretnego ciała.

Dlaczego lód nie topnieje natychmiast

Topnienie lodu wymaga dostarczenia dużej energii i taką samą energię trzeba odebrać od krzepnącej wody. Dlatego te zjawiska zachodzą na ogół powoli. W górach wiosną, przy dodatnich temperaturach powietrza, śnieg utrzymuje się przez wiele dni, ponieważ otoczenie nie może dostarczać energii szybciej.

- Cząsteczki powietrza znajdują się daleko od siebie, więc powoli oddają swoją energię.
- Śnieg i lód są białe, więc odbijają promieniowanie słoneczne, czyli niemal nie pochłaniają jego energii.

Jest to bardzo korzystne: gdyby cały śnieg i lód topniały w pierwszy wiosenny dzień, w dolinach co roku mielibyśmy powodzie.



▲ W wiosenny dzień temperatura powietrza jest dodatnia, ale temperatura topniejącego śniegu ciągle wynosi 0°C

Temperatura topnienia i temperatura krzepnięcia

Skoro topnienie i krzepnięcie zachodzi w tej samej temperaturze, możemy ją nazwać zarówno temperaturą krzepnięcia, jak i temperaturą topnienia.
Dla różnych substancji ta temperatura może być bardzo różna (patrz rys. poniżej i tabela 5. na s. 351).



Rtęć:
$T_{topn} = -39°C$



Żelazo:
$T_{topn} = 1538°C$



Wolfram (we włóknie żarówki):
$T_{topn} = 3420°C$

▲ Przykłady temperatury topnienia

Lód a inne ciała stałe

Czy wszystkie ciała stałe topnieją podobnie jak lód w jednej, ściśle określonej temperaturze? Okazuje się, że jest tak dla bardzo wielu substancji, ale nie dla wszystkich. Zależy to od ich budowy cząsteczkowej.

Ciała stałe

krystaliczne	**bezpostaciowe**
ich cząsteczki są ułożone regularnie	ich cząsteczki są ułożone bezładnie
lód, metale, sól kuchenna, wiele innych minerałów 	np. szkło, stearyna 

Podczas ich topnienia

temperatura jest stała	**temperatura rośnie**
jest coraz więcej cieczy, a coraz mniej ciała stałego, ale można odróżnić część stopioną od niestopionej	ciało mięknie jednakowo w całej objętości i trudno jednoznacznie stwierdzić, kiedy staje się cieczą

Parowanie i wrzenie

Nawet w chłodny dzień woda paruje, np. wysychają kałuże. Natomiast **wrzenie** następuje w określonej, wysokiej temperaturze. Czym różnią się te zjawiska?

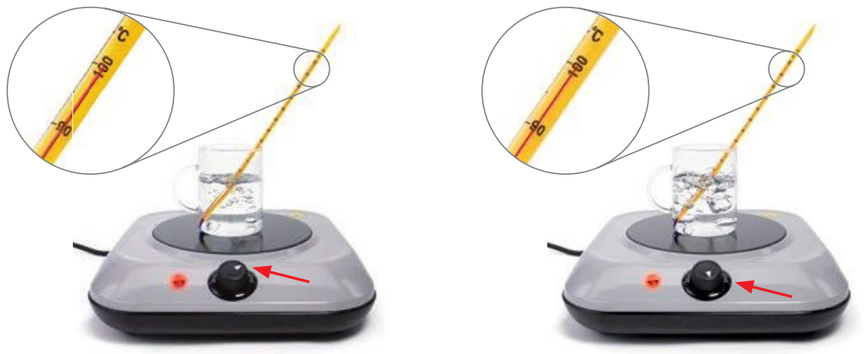
- Woda paruje **w każdej temperaturze**, jednak **tylko na powierzchni**. Ta sama ilość wody znacznie szybciej wyparuje, rozlana na talerzu, niż nalana do szklanki.
- **Im wyższa temperatura**, tym szybsze parowanie wody.
- W końcu w określonej temperaturze (przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym jest to 100°C) woda zaczyna parować nie tylko na powierzchni, lecz także w całej objętości. Para powstająca z dala od powierzchni cieczy zbiera się w pęcherzyki, które unoszą się ku górze.

Wrzenie to parowanie cieczy w całej jej objętości.

W przypadku różnych cieczy wrzenie przebiega podobnie, choć temperatura wrzenia może być różna (patrz tabela 5. na s. 351).

Podczas wrzenia temperatura jest stała

W czasie wrzenia cała dostarczana energia jest zużywana na zmianę stanu skupienia. Temperatura podczas wrzenia wody nie rośnie, podobnie jak podczas topnienia lodu.



▲W obu naczyniach temperatura wody jest taka sama, różna jest tylko szybkość parowania, ponieważ dostarczamy inną ilość ciepła

Temperatura wrzenia nie zależy także od szybkości dostarczania ciepła. Ten fakt ma praktyczne znaczenie dla każdego, kto gotuje potrawy na kuchence gazowej. Jeśli mocniej odkręcimy gaz, nie spowodujemy zwiększenia temperatury wrzącej wody, a jedynie szybszą zamianę wody w parę. Również włożony do wody makaron czy inne potrawy nie ugotują się szybciej – zmarnujemy tylko gaz i zaryzykujemy przypalenie.

Znaczenie ciśnienia atmosferycznego

Im wyższe jest ciśnienie, tym wyższa jest temperatura wrzenia wody (patrz doświadczenie domowe). Dlatego w wysokich górach woda wrze w niższej temperaturze, przez co potrawy trzeba dłużej gotować.

A to ciekawe

Mówimy potocznie, że nad dzióbkiem czajnika widać parę. Tymczasem pary wodnej nie widać – jest ona przezroczysta. Nie dostrzegamy jej, choć jest stale obecna w otaczającym nas powietrzu.
Pary wodnej nie widać także na zdjęciu obok tuż przy wylocie dzióbka (w obszarze wskazanym strzałką). Obłoczek, zwany potocznie parą, to mgła, czyli drobne kropelki ciekłej wody.



W którym miejscu para zaczyna się skraplać

W powietrzu zawsze znajduje się para wodna. Najłatwiej skrapla się ona na drobnych lub porowatych ciałach, np. pyłach. Właśnie dlatego za przelatującym samolotem powstaje **smuga kondensacyjna** (*kondensacja* to inna nazwa skraplania).
Tworzy się ona, ponieważ na wysokości przelotowej samolotu pary jest zbyt mało, aby skraplała się samorzutnie, ale pyły zawarte w spalinach ułatwiają ten proces.
Smuga kondensacyjna fizycznie nie różni się od naturalnej chmury – zawiera krople wody i kryształki lodu.

To najważniejsze

- Zarówno **topnienie** lodu, jak i **krzepnięcie** wody zachodzą w temperaturze 0°C. Różni je natomiast kierunek przepływu energii. Topnienie wymaga dostarczania energii, a krzepnięcie – jej odbierania.
- Chłodna woda także **paruje**, ale tylko na powierzchni. W temperaturze 100°C (przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym) woda **wrze**, czyli paruje w całej objętości.
- **Temperatura wrzenia** jest różna w przypadku różnych cieczy i zależy od ciśnienia powietrza.
- Wrzenie i skraplanie odbywają się szybciej wtedy, gdy mogą zostać zapoczątkowane na wielu drobnych zanieczyszczeniach albo niejednorodnościach.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Przepisz tekst do zeszytu. Wpisz zamiast zakreślonych miejsc określenia „większa niż”, „mniejsza niż” lub „równa”.

W mroźny dzień, gdy temperatura powietrza wynosiła –20°C, wystawiliśmy przed dom miskę wody. Po pewnym czasie w wodzie zaczął się pojawiać lód. W tej sytuacji temperatura wody była 0°C. Temperatura powstałego lodu była 0°C.

2. Odpowiedz na pytania.

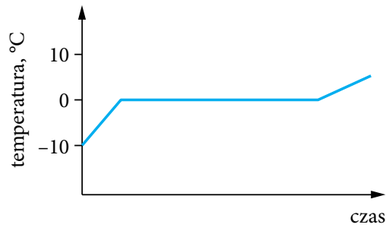
a) Czy za szybowcem także może powstać smuga kondensacyjna?

b) Naftalina – substancja odstraszająca mole – jest używana w postaci kulek. Stopniowo znika, choć nie topnieje. Jakiej przemianie fazowej podlega?

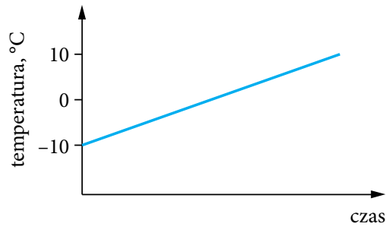
c) Czy podczas skraplania para wodna oddaje czy pobiera energię?

3. Do naczynia wrzucono 100 g lodu o temperaturze –10°C. Naczynie stopniowo podgrzewano, aż do uzyskania ciekłej wody o temperaturze +10°C. Który wykres poprawnie przedstawia zmiany temperatury substancji w naczyniu? Uzasadnij swój wybór.

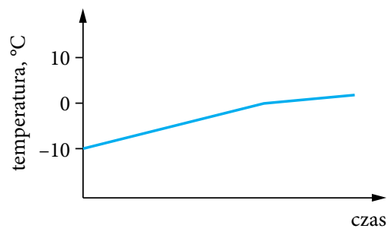
A.



B.



C.



4. Przy wekowaniu przetworów słoiki wstawiamy do garnka z wodą. Potem wodę w garnku podgrzewamy aż do wrzenia. Podczas tego procesu jedzenie w słoiku także mocno się ogrzewa, ale zawarta w nim woda nie wrze. Dlaczego?



5. Obejrzyj film *Co to jest mgła* na kanale „Nauka. To lubię” w serwisie YouTube. Zapisz w kilku zdaniach, co cię zainteresowało.

Doświadczenie domowe

Zimny wrzątek

1. Przygotuj strzykawkę o pojemności 20 cm^3 (bez igły), zapałki, metalową zakrętkę od słoika.

2. Nabierz do strzykawki ok. 0,5 cm^3 ciepłej, ale nie gorącej wody tak, aby nie było w niej pęcherzyków powietrza.

3. Z zachowaniem zasad bezpieczeństwa przypal zapałką wylot strzykawki. Poczekaj chwilę, aż się nadtopi, a następnie rozgnieć go na zakrętce od słoika tak, aby się zakleił. Gdy strzykawka ostygnie, sprawdź, czy jej wylot nie przepuszcza powietrza – po niewielkim przesunięciu i puszczeniu tłoczek powinien wracać do pozycji bliskiej początkowego położenia.

Możesz także mocno zatkać strzykawkę palcem.

4. Teraz szybko pociągnij za tłoczek i obserwuj, co zachodzi wewnątrz strzykawki.

Uwaga. Temperatura wody w strzykawce nie wzrasta, jednak przy niższym ciśnieniu powietrza temperatura wrzenia wody jest niższa.



7 Ciepło topnienia i ciepło parowania



Jak to możliwe, że człowiek może biegać na długich dystansach nawet na pustyni?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, dlaczego zmiany stanu skupienia wiążą się z przepływem energii, mimo że nie zmienia się temperatura ciał podlegających tym przemianom.
- Nauczysz się wykorzystywać ciepło topnienia i ciepło parowania do obliczeń.

Po co energia przy zmianie stanu skupienia

Podczas wrzenia temperatura cieczy się nie zmienia, mimo że stale dostarczamy do niej energię. Co się więc dzieje z tą energią?
Aby to wyjaśnić, pomyślmy o rozpylaniu wody (zdjęcie A na następnej stronie). Aby rozdzielić wodę na tysiące drobnych kropelek, musimy wykonać pracę, a więc przekazać wodzie energię. Ta energia jest wykorzystana do przezwyciężenia oddziaływań między niektórymi cząsteczkami wody.

Pomyśl teraz, że zamiana wody w parę to jej rozpylenie nie na tysiące, czy nawet miliony, ale na miliardy miliardów pojedynczych cząsteczek. Podobnie jak przy zwykłym rozpylaniu, przezwyciężenie oddziaływań międzycząsteczkowych wymaga energii, ale ponieważ cząsteczek jest nieporównanie więcej, również ta energia jest znacznie większa.

Z kolei topnienie lodu możemy porównać do rozbijania go na kawałki (zdjęcie B). W jednym i w drugim przypadku energia potrzebna jest po to, aby przezwyciężyć oddziaływania międzycząsteczkowe.



▲ Rozpylenie wody, czyli podzielenie jej na krople A, oraz podzielenie lodu na kilka kawałków B wymaga dostarczenia energii

Zmiana stanu skupienia a energia wewnętrzna

Przypomnijmy, że energia wewnętrzna ciała składa się z dwóch składników:
- energii kinetycznej cząsteczek,
- energii oddziaływań międzycząsteczkowych.

Podczas zmiany stanu skupienia nie zmienia się energia kinetyczna cząsteczek, a więc także – temperatura ciała. Natomiast zmianie ulega energia oddziaływań.

Ciepło topnienia

Aby stopić 1 kg lodu o temperaturze 0°C, potrzeba 334 000 J energii. Mówimy, że **ciepło topnienia** lodu wynosi 334 000 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$.

Ciepło topnienia to wielkość określająca energię potrzebną do stopienia 1 kg substancji, której temperatura jest równa temperaturze topnienia.

Aby stopić 2 kg lodu, potrzeba 2 · 334 000 J, aby stopić 3 kg, potrzeba 3 · 334 000 J itd. Ten sposób obliczania energii potrzebnej do stopienia lodu możemy zapisać za pomocą ogólnego wzoru:

potrzebna energia → $E = mL_\text{t}$ ← ciepło topnienia, masa substancji

Ciepło parowania

Wielkością analogiczną do ciepła topnienia jest ciepło parowania.

Ciepło parowania to wielkość określająca energię potrzebną do odparowania 1 kg substancji w stanie ciekłym.

Podobny jest też wzór na **energię potrzebną do odparowania cieczy**:

potrzebna energia → $E = mL_\text{p}$ ← ciepło parowania, masa substancji

Uwaga. Parowanie może zachodzić w dowolnej temperaturze, nie tylko w temperaturze wrzenia, dlatego ciepło parowania możemy określać dla różnych temperatur. Różnice nie są jednak duże. W naszym podręczniku, jeśli nie zaznaczymy inaczej, będziemy mówili o cieple parowania w temperaturze wrzenia.
W tabeli 5. na s. 351 podajemy ciepło parowania różnych cieczy w temperaturze wrzenia.
Zauważ, że ciepło parowania wody jest bardzo duże – wynosi aż 2 256 000 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$.



▲ Woda paruje i pobiera ciepło z naszego ciała, co powoduje jego ochładzanie

Przykład

Wykorzystanie ciepła parowania wody

Czajnik elektryczny ma moc 1800 W. Ile gramów wrzącej wody odparuje z włączonego czajnika w czasie 10 s?



Dane:
P = 1800 W – moc czajnika
t = 10 s – czas wrzenia wody

Szukane:
m = ? – masa odparowanej wody

Rozwiązanie:
Przypomnijmy, że moc 1800 W oznacza, że czajnik przekształca 1800 J energii elektrycznej w energię wewnętrzną w czasie 1 s.

W takim razie w czasie 10 s do wody zostanie dostarczona energia:

$$E = 10 \cdot 1800\ \text{J} = 18\,000\ \text{J}$$

Możesz także przekształcić wzór $P = \frac{E}{t}$ do postaci $E = Pt$.

Ponieważ mowa o energii potrzebnej do odparowania wody, będziemy korzystać z ciepła parowania wody. Znajdujemy je w tabeli 5. na s. 351 lub w tablicach:

$$L_\text{p} = 2\,256\,000\ \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Ze wzoru $E = mL_\text{p}$ wynika, że masa jest równa:

$$m = \frac{E}{L_\text{p}}$$

a więc po podstawieniu danych otrzymujemy:

$$m = \frac{18\,000\ \text{J}}{2\,256\,000\ \frac{\text{J}}{\text{kg}}} \approx 0{,}008\ \text{kg} = 8\ \text{g}$$

Odpowiedź: W czasie 10 s czajnik odparowuje 8 g wody.

Woda jako zbiornik ciepła

Duże ciepło właściwe, ciepło topnienia i ciepło parowania wody powodują, że woda – zarówno w otwartych zbiornikach, jak i zawarta w roślinności – pochłania ciepło w czasie upałów i oddaje je wtedy, gdy jest chłodniej.
Aby się przekonać, jakie znaczenie dla zmniejszania wahań temperatury ma woda, pomyślmy o pustyni, gdzie wody nie ma (patrz zdjęcia poniżej).

Dobowe zmiany temperatury na pustyni



W dzień na pustyni piasek i powietrze natychmiast się rozgrzewają



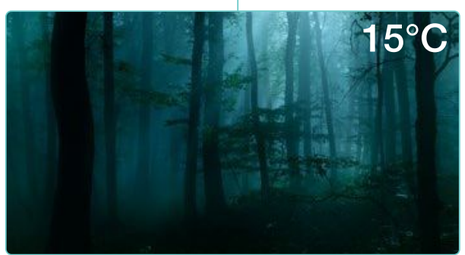
W nocy piasek i powietrze bardzo szybko się chłodzą

Inaczej jest w miejscach, gdzie znajduje się woda – niekoniecznie w postaci rzek czy jezior: wystarczy, że jest zawarta w roślinności.

Dobowe zmiany temperatury w lesie



W dzień woda pochłania ciepło, więc las nagrzewa się powoli



W nocy woda oddaje ciepło, więc temperatura spada stosunkowo niewiele

Podsumujmy:

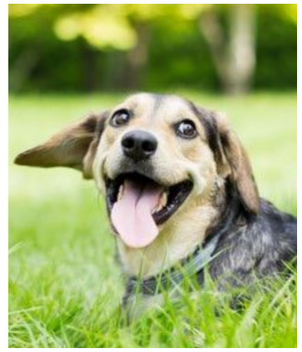
Duże wartości ciepła właściwego, ciepła topnienia i ciepła parowania wody wpływają na złagodzenie klimatu w miejscach występowania wody.

W klimacie morskim mniejsze są nie tylko dobowe, lecz także roczne wahania temperatury.

Chłodzenie organizmów

Człowiek, tak jak każde zwierzę stałocieplne, musi usuwać z organizmu nadmiar ciepła. Osiągamy to dzięki parowaniu potu oraz wydychaniu pary wodnej. Właśnie dlatego pocimy się intensywniej podczas wysiłku. Nasze mięśnie mają niewielką sprawność – znaczną część energii dostarczonej w pożywieniu zamieniają na ciepło, a nie na użyteczną pracę.

Zdolność do pozbywania się nadmiaru ciepła jest przystosowaniem, które odziedziczyliśmy po naszych przodkach żyjących na sawannie. Do dziś jednak pozwala ono ludziom szybko biegać na bardzo dużych dystansach, i to nawet w bardzo gorącym klimacie.



▲ Psy pozbywają się nadmiaru ciepła przez wydychanie pary wodnej i odparowanie śliny

Krzepnięcie, skraplanie i zasada zachowania energii

Omówiliśmy zmiany energii przy topnieniu i parowaniu. A co się dzieje przy przemianach zachodzących odwrotnie – krzepnięciu i skraplaniu?

Aby stopić ciało stałe, trzeba dostarczyć mu energii. Gdy ciecz krzepnie, oddaje tyle samo energii.

Jest to zgodne z zasadą zachowania energii: gdy lód stopimy, a potem powstałą wodę zamrozimy, wrócimy do punktu wyjścia – a więc nie możemy na tym ani zyskać, ani stracić energii.
Dlatego ciepło topnienia pozwala nam także obliczać, ile ciepła wydzieli się przy krzepnięciu cieczy.
Podobnie jest z parowaniem i skraplaniem.

Podczas skraplania wydziela się taka sama ilość energii, jaka jest pochłaniana podczas parowania w tej samej temperaturze.

Tak więc do obliczania ciepła wydzielonego przy skraplaniu możemy używać ciepła parowania.

To najważniejsze

- Zarówno **topnienie**, jak **i parowanie** wymagają **dostarczenia energii**. Zostaje ona zużyta na pokonanie oddziaływań między cząsteczkami.
- Podczas **krzepnięcia i skraplania wydziela się energia**.
- **Ciepło topnienia** to wielkość określająca, ile energii potrzeba do stopienia 1 kg substancji, a tym samym – ile energii wydzieli się podczas krzepnięcia 1 kg substancji.
- **Ciepło parowania** to wielkość określająca, ile energii potrzeba do odparowania 1 kg cieczy, a tym samym – ile energii wydziela się podczas skraplania 1 kg pary.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. W upalny dzień duże drzewo może odparować 800 litrów wody. Oblicz, ile ciepła pochłania w ten sposób.



2. P Ile lodu o temperaturze 0°C można stopić grzałką o mocy 800 W pracującą przez 3 h?

3. W ramce podano informacje dotyczące żelazka. Jaka część mocy żelazka jest wykorzystywana do wytwarzania pary? Pomiń energię potrzebną do podgrzania wody, która ma zostać odparowana.

Moc: 2600 W • Zasilanie: 230 V • Wytwarzanie pary: 45 $\frac{g}{min}$

4. Człowiek na pustyni musi wypić co najmniej 10 litrów wody dziennie. Wielbłądowi, choć jest znacznie większy, wystarczą 2 litry. Jak to możliwe? Otóż w nocy, gdy na pustyni jest zimno, chłodzi się on do 35°C, a w dzień rozgrzewa do 40°C.

Oblicz, ile wody zaoszczędza wielbłąd dzięki takiemu przystosowaniu.

Przyjmij, że średnie ciepło właściwe ciała wielbłąda wynosi 3400 $\frac{J}{kg \cdot °C}$, masa zwierzęcia to ok. 500 kg, a ciepło parowania wody w temperaturze między 35°C a 40°C to ok. 2,4 $\frac{MJ}{kg}$.

5. Na zdjęciach widzisz pomiary temperatury za pomocą termometru bezdotykowego. Wykonane zostały w tym samym czasie w sąsiadujących ze sobą miejscach, jednak na zdjęciu A znajduje się droga asfaltowa, na B – gęsta roślinność. Wyjaśnij, z czego wynikają tak duże różnice temperatury.



Doświadczenie domowe

Lód topnieje pod wpływem soli

1. Przygotuj kubek, termometr, kilka kostek lodu, sól, woreczek foliowy, tłuczek do mięsa i deskę do krojenia.

2. Włóż kostki lodu do woreczka i rozbijaj je tłuczkiem na desce, aż lód stanie się miękką masą. Następnie wrzuć go do kubka i zalej niewielką ilością zimnej wody.

3. Zmierz temperaturę wody z lodem.

4. Do wody z lodem wsyp kilka łyżek soli i wymieszaj zawartość kubka. Co obserwujesz? Jak zmienia się temperatura w naczyniu?

5. Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko. Możesz skorzystać z filmu *Dlaczego sól roztapia lód* na kanale „Nauka. To lubię” w serwisie YouTube.



8 Pompy ciepła



Czy można zbudować klimatyzator bez elementów na zewnątrz budynku?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak działają: lodówka, klimatyzator i pompa ciepła do ogrzewania domu.
- Zrozumiesz, dlaczego pompa ciepła stosowana jako źródło ciepła zużywa mniej energii niż grzejnik.
- Przećwiczysz rozwiązywanie zadań dotyczących ciepła właściwego i ciepła parowania.

Pompa ciepła w fizyce

Na co dzień określenie „pompa ciepła” oznacza rodzaj urządzenia do ogrzewania domu. W fizyce tego pojęcia używamy w szerszym znaczeniu.

Pompa ciepła to każde urządzenie, które przenosi ciepło z ciała chłodniejszego do cieplejszego.

Jak wiesz, ciepło samorzutnie może przepływać tylko w przeciwnym kierunku: od ciała cieplejszego do chłodniejszego. Aby wywołać przepływ „pod prąd”, musimy mieć specjalne urządzenie i zasilać je energią (na ogół elektryczną).

Zastosowanie pompy ciepła do chłodzenia

Pomp ciepła najczęściej używamy do chłodzenia. Oto przykłady:

- Lodówka usuwa nadmiar ciepła ze swojego wnętrza na zewnątrz (rys. A na następnej stronie).
- Tak samo działa zamrażarka.

- Klimatyzator usuwa nadmiar ciepła z budynku albo z samochodu do otoczenia.

Ogrzewanie kuchni przez lodówkę albo otoczenia domu przez klimatyzator jest tylko efektem ubocznym.

Zastosowanie pompy ciepła do ogrzewania

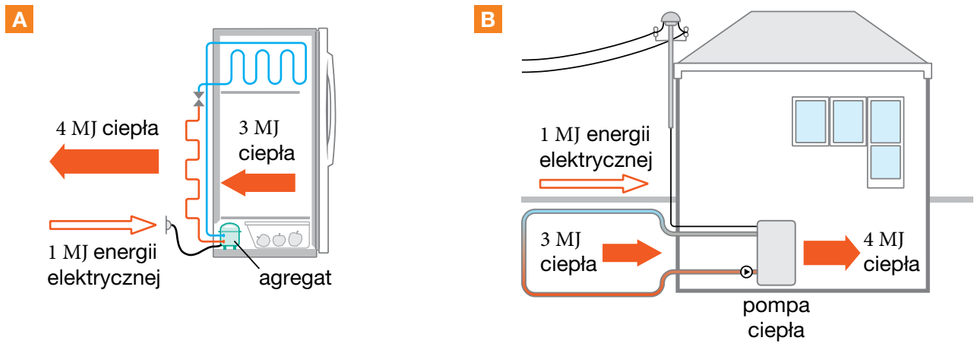
Pompy ciepła możemy używać także do ogrzewania. W tym przypadku efektem ubocznym jest chłodzenie otoczenia.
Co prawda dom można ogrzewać po prostu grzejnikiem elektrycznym, ale pompa ciepła pozwala to zrobić kosztem znacznie mniejszej energii. Jak to możliwe?

- Gdy ogrzewamy dom za pomocą grzejnika elektrycznego, aby dostarczyć 4 MJ ciepła, musimy zużyć 4 MJ energii elektrycznej.
- Pompa ciepła kosztem zaledwie 1 MJ energii elektrycznej może przenieść z otoczenia do domu 3 MJ ciepła, a dodatkowo zużyta energia elektryczna także zostaje zamieniona na ciepło do podgrzania domu (rys. B)

Uwaga. Nie zawsze zużywamy energię akurat 4 razy mniejszą – zależy to od różnicy temperatur między wnętrzem domu a otoczeniem oraz od jakości pompy. Zwykle zużycie energii możemy zmniejszyć od 2 do 5 razy.

Podobne działanie mimo różnych zastosowań

Zauważ, że niezależnie od sposobu wykorzystania pompy ciepła – do chłodzenia lub ogrzewania – działa ona w podobny sposób. Porównaj rysunki A i B. Dla podkreślenia podobieństw umieściliśmy na nich jednakowe wartości liczbowe energii.



▲ A Kosztem 1 MJ energii elektrycznej agregat lodówki usuwa z niej 3 MJ ciepła i oddaje 4 MJ ciepła do pomieszczenia. B Kosztem 1 MJ energii elektrycznej domowa pompa ciepła pobiera z otoczenia 3 MJ ciepła i oddaje 4 MJ ciepła do wnętrza domu

A to ciekawe

W bębnowej suszarce do ubrań tej samej pompy ciepła używamy zarówno do ogrzewania, jak i do chłodzenia. Gorące powietrze jest wdmuchiwane do bębna z ubraniami, natomiast powietrze po przejściu przez bęben jest chłodzone, dzięki czemu skrapla się zawarta w nim para wodna.



Czy klimatyzator zawsze jest niezbędny?

Nie zawsze wtedy, gdy w pomieszczeniu jest gorąco, musimy używać klimatyzatora. Wiele prostych rozwiązań pozwoli zaoszczędzić energię potrzebną do jego zasilania, co jest korzystne zarówno dla domowego budżetu, jak i dla środowiska.



Jeśli tylko na dworze jest chłodniej niż w domu, możesz otworzyć okno.



Podczas gotowania włączaj wyciąg nad kuchenką.



W słoneczne dni zasłaniaj okna, a najlepiej osłaniaj je od zewnątrz.



Zostawiaj okna otwarte na noc, aby ochłodzić dom.

Doskonałą ochroną przed upałem jest także roślinność. Drzewo albo duży krzew nie tylko dają cień, lecz także zawierają dużo wody, pochłaniającej energię przy ogrzewaniu i parowaniu.

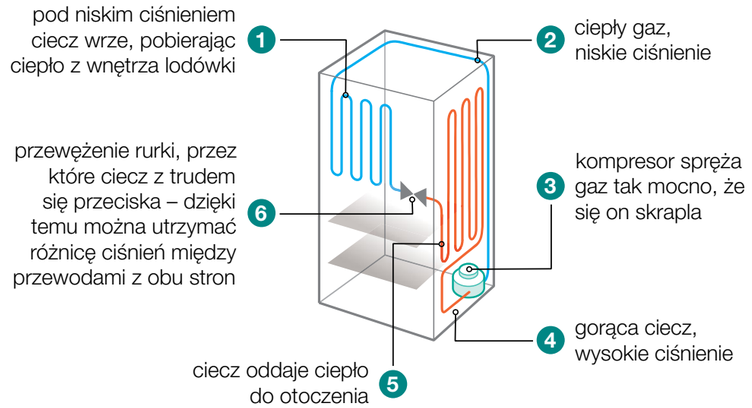
Zasada działania

Wiemy już, jakie zastosowanie mają pompy ciepła. A na jakiej zasadzie działają? Jak to się dzieje, że wymuszają przepływ energii z miejsca zimniejszego do cieplejszego? Istnieją różne typy pomp ciepła, ale najczęściej wykorzystujemy w nich fakt, że parująca ciecz pobiera ciepło, a skraplająca się para je oddaje (patrz ramka).

Jak działa lodówka

Zasadę działania pompy ciepła przedstawimy na przykładzie lodówki.

W lodówce ciepło jest pobierane wewnątrz urządzenia i oddawane na zewnątrz (z tyłu).



Nie istnieją „pochłaniacze ciepła”

Jeśli chcemy chłodzić pomieszczenie, zbędne ciepło musimy odprowadzać na zewnątrz. Dlatego każdy klimatyzator ma służący do tego celu moduł, umieszczany poza budynkiem.

Z energią odebraną z powietrza oraz pobraną z sieci elektrycznej musi się coś stać – nie może ona przecież zniknąć.

Niestety, nie da się zbudować urządzenia, które chłodziłoby pomieszczenie, a przy tym energię wewnętrzną zamieniało w inne formy energii, np. w energię elektryczną.

To najważniejsze

- **Pompa ciepła** to urządzenie przenoszące ciepło z ciała o niższej temperaturze do ciała o wyższej temperaturze.
- Pomp ciepła możemy używać **do chłodzenia** (tak działa lodówka lub klimatyzator) **lub do ogrzewania**.
- Pompa ciepła użyta do ogrzewania pozwala znacznie zmniejszyć zużycie energii.
- Nie da się usunąć ciepła z pomieszczenia bez jednoczesnego ogrzewania jego otoczenia.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. W zamkniętym, odizolowanym od otoczenia pokoju stoi otwarta i włączona lodówka. Czy temperatura w pokoju będzie rosła, spadała czy pozostanie bez zmian?



2. Skomentuj reklamę.



3. Wiele typów klimatyzatorów pozwala także ogrzewać mieszkanie w zimne dni. Czy taki klimatyzator musi być wyposażony w dwa niezależne urządzenia: osobne do grzania i osobne do chłodzenia?

4. Przypomnij sobie porady, jak chłodzić dom bez użycia klimatyzatorów.

a) Dlaczego warto mieć włączony wyciąg nad kuchenką podczas gotowania?

Wskazówka. Usuwanie ciepłego powietrza to nie jest najważniejszy powód.

b) Dlaczego zasłanianie okien od zewnątrz działa lepiej niż od wewnątrz?

5. Opłata za ciepłą wodę z sieci miejskiej składa się z opłaty za zimną wodę i opłaty za jej podgrzanie. W pewnym mieście za zimną wodę płacimy 6 $\frac{\text{zł}}{\text{m}^3}$, a za podgrzanie 50 $\frac{\text{zł}}{\text{m}^3}$, przy czym temperatura zimnej wody wynosi 15°C, a ciepłej 55°C. Oblicz, czy opłaca się samodzielnie podgrzewać zimną wodę przy cenie 1,20 zł za 1 kWh energii elektrycznej:

a) za pomocą elektrycznego podgrzewacza wody,

b) za pomocą pompy ciepła.

Przyjmij, że ciepło oddane przez pompę do wody jest 4 razy większe niż zużyta energia elektryczna.

9 Zmiany temperatury Ziemi



Dlaczego w szklarni, nawet nieogrzewanej, jest cieplej niż na zewnątrz?

Cele lekcji:

- Zrozumiesz, na czym polega efekt cieplarniany.
- Poznasz przyczyny tego zjawiska i jego skutki.
- Dowiesz się, co to jest sprzężenie zwrotne.

Bilans energii Ziemi

Przypomnijmy, że ciało ogrzewa się lub chłodzi w zależności od tego, czy więcej energii do niego dopływa czy odpływa.

Ten fakt dotyczy nawet tak wielkich ciał, jak cała planeta Ziemia (traktowana jako jedno ciało razem z oceanami i atmosferą). Ponieważ jest ona otoczona próżnią, może wymieniać energię z otoczeniem tylko w postaci promieniowania.

Obecnie więcej energii przypływa do Ziemi w formie promieniowania ze Słońca, niż Ziemia emituje jej w kosmos.

W związku z tym rośnie energia wewnętrzna naszej planety, a co za tym idzie – wzrasta jej średnia temperatura. Dlaczego tak się dzieje?



▲ Ziemia pochłania energię szybciej, niż wypromieniowuje ją w kosmos – różnica w tempie pochłaniania i emisji energii to 0,5 PW (petawata, czyli biliarda watów)

Efekt cieplarniany

Okazuje się, że przyczyną jest efekt cieplarniany – zjawisko, które możemy obserwować także w mniejszej skali w szklarni albo w samochodzie zaparkowanym w nasłonecznionym miejscu. Przyczyną efektu cieplarnianego jest fakt, że Słońce emituje promieniowanie o innej częstotliwości i długości fali niż Ziemia i przedmioty na Ziemi:

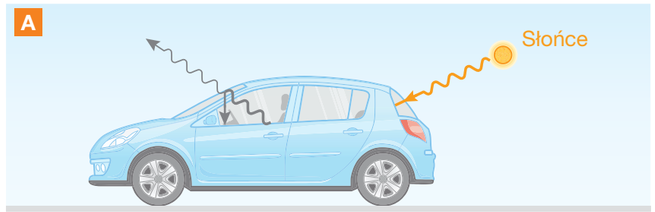
- Słońce wysyła krótkie fale, głównie światło widzialne.
- Ziemia i znajdujące się na niej przedmioty emitują znacznie dłuższe fale: daleką podczerwień.

Przyczyną tej różnicy jest fakt, że Słońce ma znacznie wyższą temperaturę. Więcej na ten temat powiemy w lekcji 33.

Niektóre substancje przepuszczają większość promieniowania Słońca, a częściowo zatrzymują długie fale dalekiej podczerwieni. Przykładem jest szkło. Dlatego właśnie w szklarni (cieplarni), w pokoju albo w samochodzie temperatura może przewyższać temperaturę otoczenia nawet bez ogrzewania (patrz rys.).



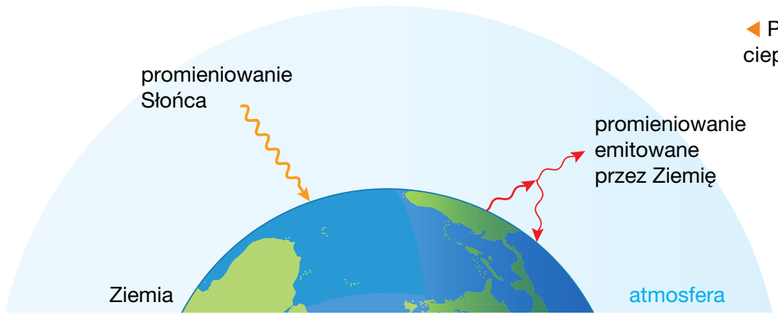
▲ Światło widzialne także niesie energię i powoduje rozgrzewanie, np. laser może topić stalową blachę



▲ Szyby wpuszczają do samochodu promieniowanie słoneczne, ale częściowo zatrzymują promieniowanie emitowane przez jego wnętrze: A mechanizm zjawiska, B pomiar temperatury deski rozdzielczej

Efekt cieplarniany w atmosferze

Niektóre gazy znajdujące się w atmosferze, m.in. **dwutlenek węgla i metan**, działają podobnie jak szyba: przepuszczają promieniowanie Słońca, a zatrzymują część promieniowania Ziemi. Z tego powodu planeta traci mniej energii, niż gdyby była pozbawiona atmosfery.



◀ Powstawanie efektu cieplarnianego

Globalne ocieplenie

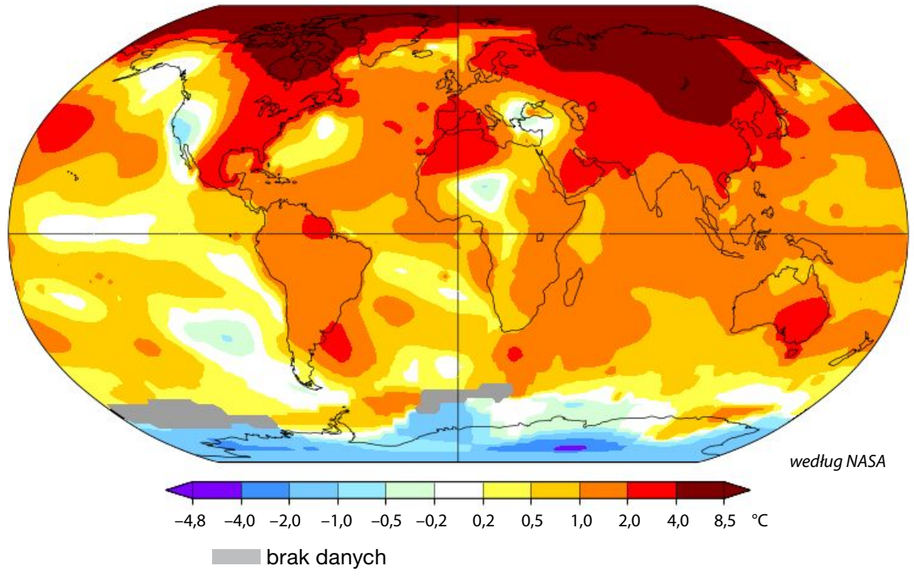
Niewielka ilość dwutlenku węgla w ziemskiej atmosferze sprzyja utrzymaniu życia. To dzięki niemu średnia temperatura Ziemi utrzymuje się na poziomie ok. 14°C. Bez gazów cieplarnianych byłoby to zaledwie ok. –18°C.
Jednak od ok. 200 lat spalamy paliwa kopalne, przez co stężenie CO_2 w atmosferze rośnie. W ten sposób wzmacniamy efekt cieplarniany i powodujemy podniesienie średniej temperatury Ziemi.

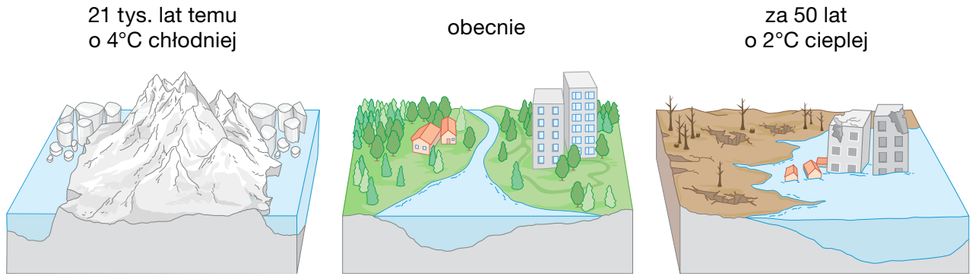
O ile wzrosła temperatura

Od czasów sprzed epoki przemysłowej średnia temperatura Ziemi wzrosła już o ok. 1°C. Jeśli nie zmniejszymy emisji CO_2, to w ciągu najbliższych 30 lat temperatura wzrośnie o kolejny stopień, a do 2100 r. wzrost temperatury w stosunku do czasów sprzed rewolucji przemysłowej może wynieść nawet 4°C.
Taki wzrost może się wydawać niewielki, jeśli myślimy o zmianie **pogody**. Jednak w przypadku **klimatu** jest to duża różnica. Dla porównania: 21 tys. lat temu, podczas epoki lodowcowej, średnia temperatura Ziemi była zaledwie o ok. 4°C niższa niż obecnie (patrz rys. na górze następnej strony).

Zmiany średniej temperatury Ziemi

Mapka pokazuje zmianę średniej temperatury różnych obszarów Ziemi między średnią dla lat 1951–1980 a średnią dla roku 2024. Jak łatwo zauważyć, ocieplenie nie jest równomierne: najbardziej ogrzały się okolice północnego bieguna Ziemi. Natomiast ochłodzenie mórz wokół Antarktydy wynika ze spływania do nich zimnej wody z topniejących lodowców.

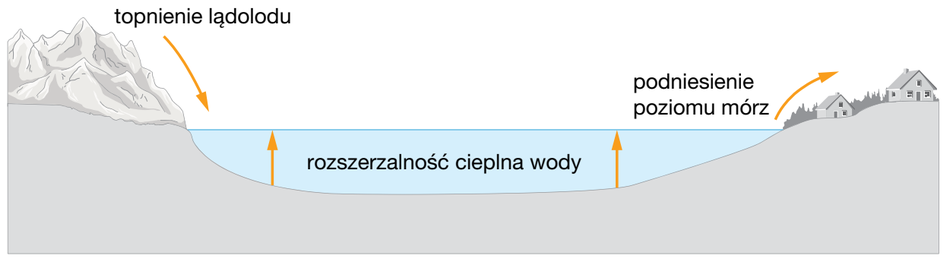




▲Ocieplenie od epoki lodowcowej do temperatur, do jakich dziś jesteśmy przyzwyczajeni, trwało 21 000 lat. Obecnie podobna zmiana może nastąpić w czasie 300 lat, z czego połowa przypadnie na najbliższe 50 lat

Skutki dla oceanów

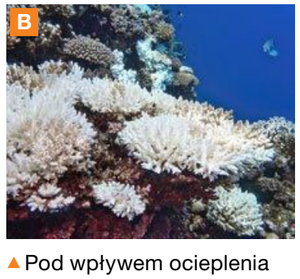
Ocieplenie klimatu powoduje podniesienie poziomu mórz i oceanów (patrz rys.).



▲Za wzrost poziomu morza odpowiadają w podobnym stopniu: topniejące lodowce i rozszerzanie się wody pod wpływem rosnącej temperatury (słona woda rozszerza się wraz ze wzrostem temperatury również poniżej 4°C)

Część dodatkowego CO_2 rozpuszcza się w wodzie. Tworzący się w ten sposób kwas węglowy zwiększa zakwaszenie oceanów, co ma szkodliwy wpływ na wiele morskich organizmów, np. na koralowce.





▲Pod wpływem ocieplenia klimatu mamy coraz mniej koralowców, na zdjęciu zniszczona rafa koło Malediwów A i koralowce, które utraciły kolor B

Sprzężenia zwrotne

Klimat to skomplikowany system. Zmiana średniej temperatury na Ziemi uruchamia procesy, które z kolei wpływają na dalsze jej podwyższanie. W takim przypadku mówimy o dodatnim sprzężeniu zwrotnym (patrz ramka na następnej stronie). Dlatego sumaryczny efekt cieplarniany jest większy, niż wynikałoby to tylko z obecności CO_2 w atmosferze.
Istnieją także **ujemne sprzężenia zwrotne**, na przykład większa zawartość CO_2 powoduje przyspieszenie fotosyntezy, a to z kolei powoduje spadek zawartości tego gazu w atmosferze. Niestety, ich efekt jest znacznie mniejszy niż efekt sprzężeń dodatnich.

Sprzężenie zwrotne

To pojęcie spotkasz w różnych dziedzinach wiedzy. Opisuje ono sytuację, gdy jakieś zjawisko powoduje skutek, który z kolei nasila lub osłabia to zjawisko. Oto przykłady.

Dodatnie sprzężenie zwrotne nasilenie	Ujemne sprzężenie zwrotne osłabienie
Uczeń dostał dobrą ocenę	
Przestał bać się na klasówkach. → Dostaje jeszcze lepsze oceny.	Uznał, że nie musi się już uczyć. → Znowu dostaje gorsze oceny.
Panu T. brakuje pieniędzy	
Bierze więc pożyczkę. Niestety, musi ją spłacać z odsetkami. → Panu T. brakuje jeszcze więcej pieniędzy.	Ogranicza więc swoje wydatki. → Panu T. już nie brakuje pieniędzy.

Zwróć uwagę, że określenia „dodatnie” i „ujemne” **nie oznaczają** „pożyteczne” i „szkodliwe”, ale „powodujące nasilenie” i „powodujące osłabienie” zjawiska.

Klimatyczne dodatnie sprzężenia zwrotne



Śnieg i lód odbijają światło słoneczne, jednak gdy stopnieją, pod spodem ukazuje się ciemna gleba albo głęboka woda oceanu, które pochłaniają światło i ciepło



Gdy rozmarza wieloletnia zmarzlina (dawniej zwana wieczną zmarzliną), uwięziony pod lodem metan, gaz cieplarniany, wydostaje się na powierzchnię



Ogrzane oceany szybciej parują, a w gorącym powietrzu mieści się więcej pary wodnej, która również jest gazem cieplarnianym

To najważniejsze

- **Efekt cieplarniany** to zjawisko podnoszenia średniej temperatury Ziemi przez gazy cieplarniane, a zwłaszcza dwutlenek węgla i metan.
- Emisja dodatkowego dwutlenku węgla z paliw kopalnych, spowodowana działalnością człowieka, zwiększa efekt cieplarniany i przyspiesza zmianę ziemskiego klimatu.
- Sprzężenie zwrotne następuje wtedy, gdy skutek zjawiska powoduje nasilenie albo osłabienie tego zjawiska.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Ludzkość w ciągu roku emituje do atmosfery ok. 40 mld ton dwutlenku węgla. Średnia gęstość tego gazu w warunkach normalnych to $2\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$.

a) Oblicz, jaką objętość w warunkach normalnych ma wyemitowany dwutlenek węgla. Jakie byłyby wymiary pojemnika, w którym można by go przechować pod normalnym ciśnieniem? Wskaż jeden lub dwa obiekty o podobnej objętości.

b) W butli gazowej o objętości 40 l można zmagazynować 30 kg sprężonego dwutlenku węgla. Jaką łączną pojemność miałyby butle z naszą roczną emisją?

2. Na podstawie mapy na s. 54 odpowiedz, czy większe ocieplenie ma miejsce:

a) w okolicach bieguna północnego czy południowego?

b) średnio na lądach czy na morzach?

c) w Polsce czy w Turcji?

3. Wyjaśnij, czy opisane zjawisko stanowi przykład sprzężenia zwrotnego, a jeśli tak – czy jest to sprzężenie zwrotne dodatnie czy ujemne. Uzasadnij swoją odpowiedź.

a) W oceanach znajdują się klatraty metanu – bryłki lodu zawierające pęcherzyki tego gazu. Gdy klatraty stopnieją, metan uniesie się do atmosfery.

b) Większa ilość CO_2 w atmosferze prowadzi do podniesienia poziomu morza.

c) Jeśli ludzie wyginą, to przestaną spalać paliwa kopalne.

4. Zapytaj najstarszych członków rodziny o ich wspomnienia z dzieciństwa. Jak często zimą padał śnieg? Jak długo się utrzymywał? Jak bawili się oni jako dzieci na dworze zimą? Zapisz zebrane wspomnienia. Porównaj je ze swoimi doświadczeniami.



10 Ochrona klimatu



Czy dla klimatu jest lepiej, gdy jeździmy samochodem elektrycznym czy autobusem z silnikiem Diesla?

Cele lekcji:

- Poznasz główne źródła emisji gazów cieplarnianych.
- Dowiesz się, jak możemy ograniczyć efekt cieplarniany.

Czy mamy się martwić efektem cieplarnianym?

Zdecydowanie tak. Pamiętajmy, że postępujące ocieplenie dopiero się rozpoczyna i jego konsekwencje będą coraz poważniejsze. Dwutlenek węgla, raz wypuszczony do atmosfery, wpływa na ziemski klimat przez co najmniej kilkanaście tysięcy lat.

- Pod koniec tego stulecia poziom mórz może znacząco wzrosnąć, co zagrozi większości nadmorskich miast i osad.
- Znaczna ilość energii zgromadzona w atmosferze wywołuje coraz gwałtowniejsze zjawiska pogodowe – huragany, burze, nawalne deszcze.
- Wzrastająca temperatura na okołorównikowych obszarach Ziemi może uniemożliwić tam nie tylko uprawy, ale nawet przeżycie stałocieplnych organizmów, w tym ludzi.
- Oznacza to gigantyczne migracje mieszkańców tamtych rejonów ku chłodniejszym strefom klimatycznym oraz zagładę wielu gatunków roślin i zwierząt.

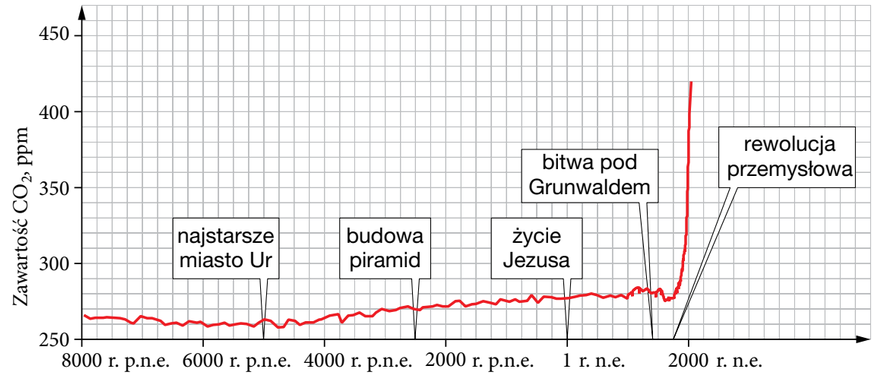
Dalszy wzrost temperatury w gorących regionach świata spowoduje zniszczenie środowiska i wielkie migracje ludzi.

Uwaga. Pamiętaj, że efekt cieplarniany to zupełnie inne zjawisko niż smog. Aby nie mylić tych dwóch zjawisk, zapoznaj się z informacjami z ramki na kolejnej stronie.

Czy w historii Ziemi dwutlenku węgla bywało więcej niż dzisiaj?

Owszem, jednak wahania zawartości CO_2 w atmosferze odbywały się powoli, nawet przez miliony lat.

Przyroda miała czas na łagodne dostosowanie się do rosnących temperatur i zakwaszania oceanów. Teraz w wyniku działalności człowieka zmiany zachodzą niezwykle szybko i powodują skutki, jakie w dawnych epokach nie występowały.



▲ Koncentracja CO_2 w atmosferze wyrażona w częściach milionowych (ppm – *parts per million*)

Smog a efekt cieplarniany

Efekt cieplarniany bywa mylony ze smogiem. Chociaż oba te zjawiska mają związek z zanieczyszczeniem powietrza, są zupełnie różne. Porównajmy je.

	SMOG	EFEKT CIEPLARNIANY
Przyczyna fizyczna	Pył (drobne cząstki stałe) zawieszony nisko w atmosferze	Gazy, np. CO_2, para wodna, metan, wysoko w atmosferze
Przyczyna po stronie ludzi	Niska emisja – spalanie w domowych piecach złej jakości węgla, spalanie śmieci, silniki Diesla	Spalanie paliw kopalnych i substancji organicznych. Niszczenie roślin, zwłaszcza wycinka drzew
Skutki	Choroby ludzi i zwierząt	Zmiana klimatu, susze, topnienie lodowców, podniesienie poziomu mórz
Zasięg	Lokalny – palenie śmieci w Puławach i okolicach powoduje smog w tym mieście, ale nie na przykład w Lublinie	Globalny – spalanie węgla w Chęcinach i w Melbourne ma wpływ na klimat w Amsterdamie
Skala czasowa	Po kilku dniach smog się rozwiewa	Klimat może ulec zmianie nawet na tysiąclecia
Dodatnie sprzężenie zwrotne	Nie występuje – obecność smogu nie powoduje, że przyroda sama wytwarza dodatkowy smog	Występuje – ocieplenie klimatu wzmacnia naturalną emisję gazów cieplarnianych, zanikają lodowce odbijające promieniowanie słoneczne

A to ciekawe

Chów zwierząt odpowiada za ok. 15% emisji gazów cieplarnianych. To tyle samo, ile wytwarza ich cały transport lądowy, wodny i lotniczy. Pamiętajmy, że hodowla zwierząt oznacza nie tylko ich karmienie, lecz także zamianę terenów lesistych na pastwiska, produkcję nawozów i ogrzewanie pomieszczeń. Przeżuwacze dodatkowo wytwarzają też drugi ważny gaz cieplarniany – metan.



Zmniejszanie zawartości CO_2 w atmosferze

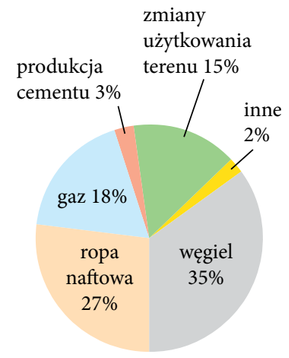
Aby ograniczyć globalne ocieplenie, najlepiej byłoby usunąć nadmiar CO_2 z atmosfery. Niestety, dziś nie mamy technologii, dzięki którym moglibyśmy to robić skutecznie, wydajnie i długofalowo.

Jednym z doraźnych rozwiązań jest **wykorzystywanie roślin**, ponieważ pochłaniają one CO_2. Jednak nawet zalesienie całej Polski nie pozwoliłoby zrównoważyć ilości dwutlenku węgla, jaką obecnie w niej produkujemy. Pamiętajmy też, że prędzej czy później każda roślina umiera, a podczas jej rozkładu lub spalania CO_2 trafia do globalnego obiegu.

Ponieważ nie potrafimy pozbyć się nadmiaru gazów cieplarnianych, musimy ograniczyć ich emisję.

Źródła emisji gazów cieplarnianych

Główne źródła emisji CO_2 przedstawia diagram. Jak widzisz, ok. 80% stanowi spalanie paliw kopalnych: węgla, ropy naftowej i gazu.



▲ Cywilizacyjne źródła emisji dwutlenku węgla na świecie

Z kolei do wzrostu poziomu metanu w atmosferze przyczyniamy się przede wszystkim poprzez rolnictwo: uprawę ryżu, hodowlę bydła, owiec i kóz. Drugim źródłem metanu jest ulatnianie się gazu ziemnego przy jego wydobyciu i przesyłaniu.

Sposoby ograniczania emisji

Gdy znamy główne źródła emisji gazów cieplarnianych, możemy się domyślić, jakie są metody jej ograniczenia. Niektóre z nich przedstawia diagram na następnej stronie.

Zwróćmy przy tym uwagę, że przy podejmowaniu decyzji, które wpływają na klimat, powinniśmy myśleć o **wszystkich** skutkach. Na przykład samochód elektryczny nie emituje CO_2 w czasie jazdy, ale zasilająca go energia elektryczna w naszym kraju jest wytwarzana głównie przez spalanie węgla, a przy tym sama produkcja samochodu wiąże się z emisjami CO_2. Tak więc wspólna jazda autobusem, nawet spalinowym, jest ostatecznie bardziej ekologicznym wyborem.

Ograniczanie emisji gazów cieplarnianych

przez poszczególne osoby	przez państwa
korzystanie z komunikacji publicznej i rowerów, ograniczenie przelotów samolotem	wspieranie komunikacji publicznej
ocieplanie mieszkań i domów	budowa elektrowni jądrowych, wiatrowych i słonecznych
wegetarianizm (zwłaszcza niespożywanie mięsa przeżuwaczy)	wprowadzenie podatków od emisji CO_2
oszczędzanie energii	dopłaty do technologii ekologicznych (np. do ocieplania mieszkań)
zdobywanie i propagowanie wiedzy o zmianach klimatu	finansowanie badań naukowych klimatu i edukacji na ten temat
	regulacje prawne zakazujące zachowań szczególnie szkodliwych dla klimatu

To najważniejsze

- Aby ograniczyć wzrost temperatury na Ziemi, musimy **ograniczyć ilość emitowanego dwutlenku węgla**.
- Wymaga to inwestycji w odnawialne źródła energii i energię jądrową, dobrego ocieplenia domów, ograniczenia transportu opartego na paliwach kopalnych oraz zmniejszenia spożycia mięsa, zwłaszcza przeżuwaczy.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. W internecie znajduje się wiele kalkulatorów do obliczania emisji dwutlenku węgla przez każdego z nas. Znajdź taki kalkulator i przeprowadź analizę dla siebie. W jaki sposób najbardziej przyczyniasz się do emisji CO_2? Jak myślisz, co możesz zrobić, aby to zmienić?

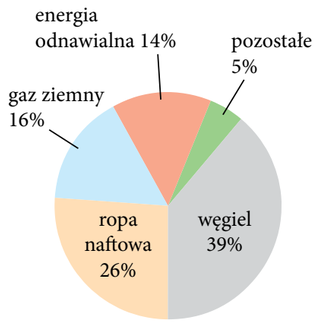
2. Pięćdziesiąt osób codziennie jedzie tam i z powrotem do pracy oddalonej od ich domów o 5 km. Załóż, że każdy pracuje średnio 20 dni w miesiącu. Oblicz, jaka jest miesięczna emisja CO_2 ze spalonego paliwa przypadająca na jedną osobę, jeśli:

a) wszyscy jadą jednym autobusem emitującym 880 g CO_2 na 1 km,

b) każda z tych osób jedzie swoim samochodem typu off-road (emisja 140 g na 1 km),

c) każda z tych osób jedzie swoim samochodem hybrydowym (emisja 35 g na 1 km).

3. Przeanalizuj diagram ze źródłami energii w Polsce w 2022 r. i wykonaj polecenia.



a) Zapisz, jaką w przybliżeniu część źródeł energii w Polsce stanowią źródła odnawialne. Odpowiedź podaj w postaci ułamka zwykłego o liczniku równym 1.

b) Ile razy więcej energii pozyskujemy z paliw kopalnych (węgla, gazu i ropy łącznie) niż ze źródeł odnawialnych? Podaj wynik w zaokrągleniu do całości.

4. Poszukaj odpowiedzi na poniższe pytania na stronie internetowej www.naukaoklimacie.pl. Sformułuj także własne pytanie dotyczące zmian klimatycznych i poszukaj na nie odpowiedzi.

a) Czy wulkany emitują więcej czy mniej dwutlenku węgla niż ludzie? Ile razy mniej albo więcej?

b) Energia słoneczna dochodząca do Ziemi nieznacznie zmienia się w czasie. Czy w ostatnich kilkudziesięciu latach ta energia rosła czy malała?

Doświadczenie domowe

Czy dwutlenek węgla grzeje

W słoneczny, letni dzień wykonaj doświadczenie pokazujące, że CO_2 jest gazem cieplarnianym.

1. Przygotuj dwie szklanki, butelkę coli, garnek, folię aluminiową, dwie łyżki cukru pudru, termometr.

2. Odgazuj ćwierć szklanki coli. W tym celu gotuj ją przez kilka minut.

3. Poczekaj, aż cola wystygnie, i włóż ją do lodówki. Obok postaw zamkniętą butelkę nieodgazowanej coli. Zostaw oba napoje na kilka godzin w lodówce.

4. Wyjmij napoje z lodówki i nalej do osobnych szklanek taką samą ilość (ok. pół szklanki) coli z gazem i bez gazu.

5. Owiń szklanki folią aluminiową tak, aby powierzchnia cieczy pozostała odsłonięta.

6. Ustaw szklanki w nasłonecznionym miejscu. Do każdej z nich wsyp łyżkę cukru pudru. Przyspieszy to uwalnianie z napoju dwutlenku węgla. Ponieważ jest on cięższy od powietrza, utrzymuje się w szklance ponad powierzchnią coli.

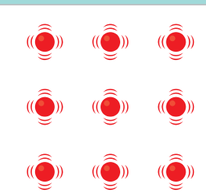
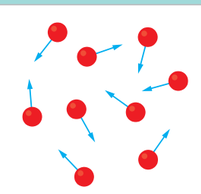
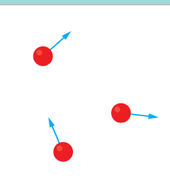
7. Po kilkunastu minutach zmierz temperaturę coli w obu szklankach. Co zauważasz?



POWTÓRZENIE

Termodynamika

Cząsteczki a stan skupienia

	Ciało stałe	Ciecz	Gaz
Położenie cząsteczek			
Ruch i oddziaływania cząsteczek	Cząsteczki drgają wokół położeń równowagi. Siły oddziaływania między cząsteczkami są duże, a odległości między nimi – niewielkie.	Odległości między cząsteczkami są niewielkie. Cząsteczki oddziałują ze sobą słabiej niż w ciele stałym, dlatego poruszają się swobodnie po całej objętości cieczy.	Odległości między cząsteczkami są duże. Cząsteczki poruszają się swobodnie po całej objętości naczynia. Praktycznie nie oddziałują ze sobą, z wyjątkiem momentów zderzeń.
Zmiana objętości, zmiana kształtu	Ciało stałe ma określony kształt i określoną objętość (nie da się łatwo sprężać i rozprężać).	Ciecz zachowuje objętość, ale nie ma określonego kształtu – dostosowuje się do kształtu naczynia, w którym się znajduje.	Gaz nie ma ustalonej objętości ani kształtu – zawsze wypełnia całe naczynie, w którym się znajduje.

- Cząsteczki są w ciągłym ruchu. **W wyższej temperaturze** ich ruch jest szybszy (większa jest średnia energia kinetyczna cząsteczek).
- **Energia wewnętrzna** ciała to suma energii kinetycznej wszystkich cząsteczek ciała oraz energii związanej z oddziaływaniami między cząsteczkami.

Sposoby przekazywania energii

Praca
bez związku z temperaturą ciała

Przepływ ciepła
na skutek różnicy temperatur, zawsze od ciała cieplejszego do zimniejszego

Przewodnictwo cieplne
przenoszenie ciepła przez substancję

Konwekcja
przenoszenie ciepła razem z substancją

Promieniowanie cieplne
przenoszenie ciepła bez substancji

- O temperaturze można mówić tylko w odniesieniu do określonego ciała.
  - Stwierdzenie: „Dzisiaj jest 20°C”, zwykle oznacza temperaturę powietrza. W tym samym czasie np. temperatura asfaltu albo gleby może być inna.

- **Rozszerzalność cieplna** ciał to zjawisko polegające na zwiększaniu rozmiarów ciała pod wpływem ogrzewania. Wyjątkiem jest woda, która wraz ze wzrostem temperatury **zmniejsza swoją objętość** między 0°C a 4°C.

- **Ciepło właściwe** to wielkość, która określa energię potrzebną do ogrzania 1 kg substancji o 1°C. Wyrażamy je w $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$.
  - **Energię potrzebną do ogrzania ciała** oraz **energię wydzielaną podczas jego stygnięcia** obliczamy ze wzoru:

$$E = m \cdot c \cdot \Delta T$$

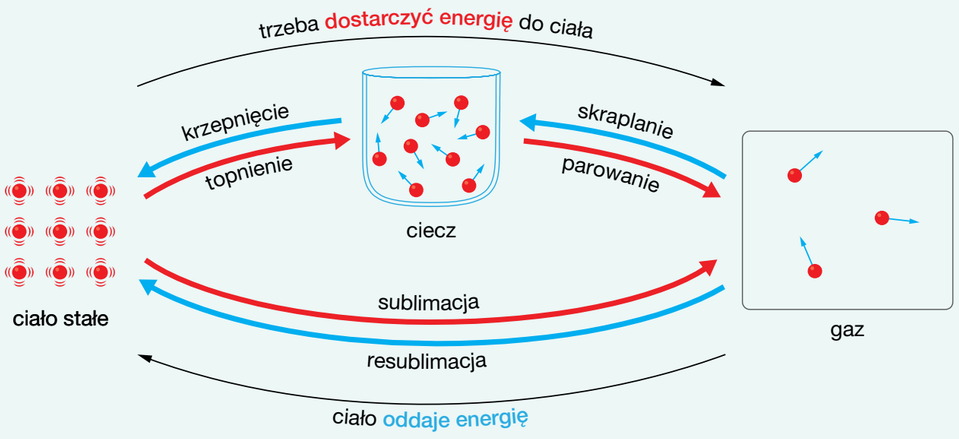
energia; masa ciała; ciepło właściwe; zmiana temperatury

$4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$ ⇨ 4200 J, aby ogrzać 1 kg o 1°C ⇨ $2 \cdot 4200$ J, aby ogrzać 2 kg o 1°C ⇨ $3 \cdot 2 \cdot 4200$ J, aby ogrzać 2 kg o 3°C

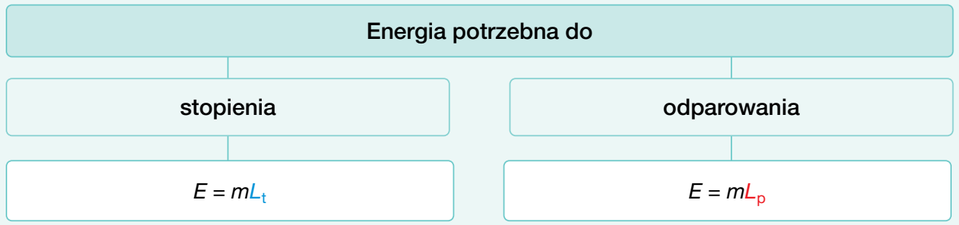
- W czasie **topnienia lodu** temperatura jest stała i wynosi 0°C, jednak aby topnienie następowało, trzeba do lodu **dostarczać energii**.
  - Woda **krzepnie** (zamarza) w tej samej temperaturze 0°C, jednak aby krzepnięcie następowało, **energia** musi być z wody **odbierana**.
  - Z innymi ciałami o strukturze krystalicznej jest podobnie, tylko temperatura topnienia/krzepnięcia jest różna dla różnych substancji.
  - Ciała bezpostaciowe (np. stearyna) nie mają ściśle określonej temperatury topnienia, ale stopniowo miękną w miarę podgrzewania.

- Woda **paruje** w każdej temperaturze, ale tylko na powierzchni. Dopiero w odpowiedniej temperaturze woda **wrze**, czyli paruje w całej objętości.
  - **Temperatura wrzenia** wody przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym (1013 hPa) wynosi 100°C.
  - Temperatura wrzenia wody rośnie ze wzrostem ciśnienia atmosferycznego.

- **Zmiana stanu skupienia** substancji wiąże się z przepływem energii.



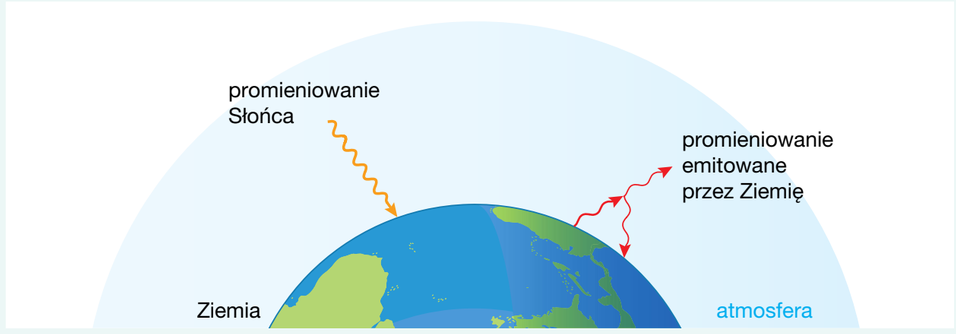
- **Ciepło topnienia** L_t to wielkość, która określa, ile energii jest potrzebne do stopienia 1 kg substancji.
- **Ciepło parowania** L_p to wielkość, która określa, ile energii jest potrzebne do odparowania 1 kg substancji.
- Ciepło topnienia i ciepło parowania wyrażamy w $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$.



- Woda ma w porównaniu z innymi substancjami bardzo duże ciepło właściwe, ciepło topnienia i ciepło parowania.
  - Dzięki tym właściwościom woda łagodzi klimat.
  - Człowiek i inne zwierzęta stałocieplne chłodzą się dzięki odparowaniu wody z organizmu.

- **Pompa ciepła** to każde urządzenie przenoszące ciepło z ciała o niższej temperaturze do ciała o wyższej temperaturze, np. lodówka.
  - Nie da się usunąć ciepła z pomieszczenia bez ogrzewania przy tym jego otoczenia.

- **Efekt cieplarniany** to zjawisko podnoszenia średniej temperatury Ziemi przez znajdujące się w jej atmosferze gazy cieplarniane, a zwłaszcza dwutlenek węgla i metan.
  - Emisja dodatkowego dwutlenku węgla spowodowana działalnością człowieka powoduje zwiększenie efektu cieplarnianego i bardzo szybką zmianę ziemskiego klimatu. Aby spowolnić wzrost temperatury Ziemi, musimy ograniczyć emisję dwutlenku węgla, a przede wszystkim ograniczyć spalanie paliw kopalnych.
  - Na rysunku poniżej przedstawiono powstawanie efektu cieplarnianego.



ZADANIA POWTÓRZENIOWE To musisz umieć

1. Gdy wodę podgrzejemy od 20°C do 40°C, prędkość ruchu jej cząsteczek:

A. wzrośnie.

B. zmniejszy się.

C. pozostanie bez zmian.

2. W którym stanie skupienia cząsteczki poruszają się po całej objętości substancji?

A. w każdym

B. tylko w ciekłym

C. tylko w gazowym

D. w ciekłym i gazowym

3. Podaj przykład zjawiska, w którym energia wewnętrzna ciała zwiększa się dzięki:

a) dopływowi ciepła,

b) wykonanej pracy.

4. Latem pewien stalowy słup ma dokładnie 8 m wysokości. Jaka jest wysokość tego słupa w zimie?

A. trochę większa niż 8 m

B. trochę mniejsza niż 8 m

C. taka sama jak w lecie

5. Dlaczego przykrywamy pokrywką garnek na kuchence, aby zagotować w nim wodę?

6. Marmur jest zimny w dotyku, a gips – ciepły. Która z tych substancji jest lepszym przewodnikiem ciepła?

7. Dopasuj właściwości wody I–V do opisów zjawisk A–E.

Uwaga. Do niektórych zjawisk pasuje kilka właściwości wody – wskaż je wszystkie.

A. Śnieg w górach może leżeć dość długo, nawet gdy temperatura powietrza jest dodatnia.

B. Gdy wyjdziemy z wody, czujemy, że jest nam zimno, nawet w ciepły dzień.

C. Głębokie jeziora nigdy nie zamarzają do dna.

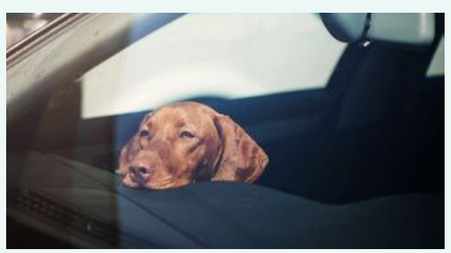
D. W gorący dzień bardziej się pocimy.

E. W pobliżu dużych zbiorników wodnych i na obszarach, gdzie jest dużo roślinności, różnica temperatury między dniem a nocą jest znacznie mniejsza niż na pustyni.

I. Lód ma mniejszą gęstość niż woda.
II. Woda zmniejsza swoją objętość podczas podgrzewania od 0°C do 4°C.
III. Woda ma bardzo duże ciepło właściwe.
IV. Lód ma bardzo duże ciepło topnienia.
V. Woda ma bardzo duże ciepło parowania.



8. Samochód stoi w nasłonecznionym miejscu. Temperatura powietrza wynosi 30°C. Jakie najpoważniejsze niebezpieczeństwo grozi zamkniętym w takim pojeździe ludziom i zwierzętom?



A. Nie będą mieli gdzie uciec w razie wypadku.

B. Organizm może nie wytrzymać przebywania przez dłuższy czas w temperaturze 30°C.

C. Temperatura w takim samochodzie może znacznie przekraczać temperaturę na zewnątrz.

D. W czasie upału może się samorzutnie zapalić benzyna w baku.

9. Efekt cieplarniany w atmosferze Ziemi zachodzi dlatego, że atmosfera:

A. jest ogrzewana ciepłem wydzielanym przy spalaniu paliw kopalnych.

B. zawiera cząstki sadzy i pyłów.

C. przepuszcza większość światła Słońca, ale nie przepuszcza części promieniowania cieplnego Ziemi.

D. zawiera zbyt mało ozonu.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To należy umieć

1. Do zjawisk A–C dobierz ich wyjaśnienia I–III.

A. Nadmuchany balonik położono w nasłonecznionym miejscu. Balonik się powiększył.

B. Gdy rozpyliliśmy trochę perfum, ich zapach był wyczuwalny w całym pokoju.

C. Po przelocie samolotu odrzutowego pozostała smuga na niebie.

I. Cząsteczki stale się poruszają i mieszają się ze sobą.
II. Powietrze zwiększa swoją objętość podczas podgrzewania.
III. Para wodna jest niewidoczna, ale gdy się skropli, możemy zobaczyć powstałą mgłę.

2. Temperatura gazów powstających podczas wystrzału z karabinu przekracza 3000°C, chociaż temperatura topnienia stali jest niższa niż 1500°C. Dlaczego więc stalowa lufa nie topnieje pod wpływem kontaktu z tymi gazami?

3. Wskaż zdanie prawdziwe.

A. Woda zamarza w temperaturze nieco niższej niż 0°C, a lód topnieje w temperaturze nieco wyższej niż 0°C.

B. Woda zamarza w temperaturze 0°C i w tej samej temperaturze topnieje lód.

C. Woda zamarza w temperaturze nieco niższej niż 0°C, a lód topnieje w temperaturze 0°C.

D. Woda zamarza w temperaturze 0°C, a lód topnieje w temperaturze nieco wyższej niż 0°C.

4. Ciepło właściwe bazaltu jest równe 900 $\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{°C}}$. Ile energii potrzeba, aby ogrzać 2 kg bazaltu o 10°C?

A. 45 J **C.** 4500 J

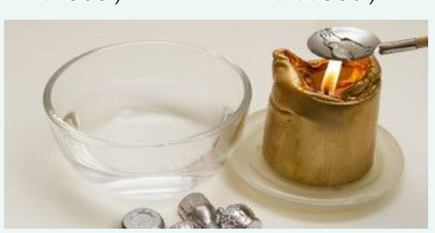
B. 180 J **D.** 18 000 J

5. Ile zapłacimy za energię elektryczną potrzebną do podgrzania 200 litrów wody o 30°C? Przyjmij cenę 1,20 zł za 1 kWh.

6. Ciepło topnienia ołowiu jest równe 24 500 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$. Ile energii potrzeba, aby stopić 500 g ołowiu podgrzanego wcześniej do temperatury topnienia?

A. 12 250 J **C.** 49 000 J

B. 24 500 J **D.** 122 500 J



7. Wyjaśnij, dlaczego mieszanie herbaty powoduje jej stygnięcie. Przecież wykonywanie pracy powinno raczej powodować wzrost energii wewnętrznej cieczy.

8. Co należy zrobić, aby ograniczyć efekt cieplarniany? Wskaż **błędną** odpowiedź.

A. Zmniejszyć spalanie paliw kopalnych.
B. Ocieplić budynki.
C. Ograniczyć spożycie mięsa.
D. Ograniczyć podlewanie upraw.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To warto umieć

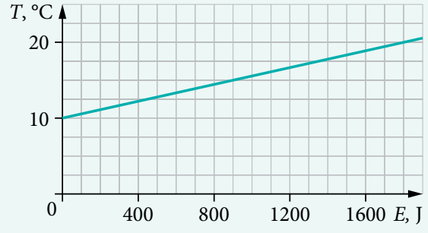
1. W czasie topnienia lodu:

A. zwiększają się jego energia wewnętrzna i temperatura.
B. zwiększa się jego energia wewnętrzna, ale nie temperatura.
C. zwiększa się jego temperatura, ale nie energia wewnętrzna.
D. jego temperatura i energia wewnętrzna pozostają bez zmian.

2. Sztabka żelaza o masie 1 kg została podgrzana o 100°C. O ile stopni Celsjusza można podgrzać litr wody kosztem tej samej ilości energii?

3. O ile stopni podgrzejemy 2 litry wody w czajniku o mocy 2300 W włączonym przez 1,5 minuty?

4. Wykres przedstawia zależność temperatury próbki aluminium od dostarczonej energii. Oblicz masę próbki. Ciepło właściwe aluminium wynosi $900 \frac{J}{kg \cdot °C}$.



5. Temperatura powietrza w pokoju wynosi 20°C. Ręcznik zamoczyliśmy w wodzie o temperaturze 20°C i powiesiliśmy. Po kwadransie:

A. ręcznik nadal ma temperaturę 20°C, co możemy stwierdzić dotykiem.
B. ręcznik nadal ma temperaturę 20°C, ale w dotyku wydaje się chłodniejszy, ponieważ lepiej przewodzi ciepło niż suchy.
C. ręcznik jest naprawdę chłodniejszy niż 20°C i jednocześnie czujemy, że jest chłodniejszy w dotyku.
D. ręcznik jest naprawdę chłodniejszy niż 20°C, ale w dotyku wydaje się, że nadal ma 20°C.

6. Dokończ zdanie. Klimatyzator:

A. powoduje przepływ ciepła z miejsca gorętszego do chłodniejszego.
B. powoduje przepływ ciepła z miejsca chłodniejszego do gorętszego.
C. powoduje znikanie części energii wewnętrznej powietrza w pomieszczeniu.
D. może pracować bez elementów znajdujących się poza chłodzonym pomieszczeniem.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE Dasz sobie z tym radę? – Świetnie

1. Na przełomie XVIII i XIX w. fizycy badali doświadczalnie, czy masa ciała zmienia się podczas jego podgrzewania.

W jednym z takich doświadczeń położono metalowy przedmiot na precyzyjnej wadze szalkowej i zrównoważono go odpowiednimi odważnikami. Następnie przedmiot podniesiono i rozgrzano. Gdy gorący położono z powrotem na szalce, okazało się, że szalka opadła, co sugerowałoby, że masa przedmiotu wzrosła podczas podgrzewania.



Inne doświadczenie miało podobny przebieg, tym razem jednak użyto przedmiotu, który mocno schłodzono (do temperatury poniżej 0°C). Tym razem również waga wskazała, że ciało po zmianie temperatury jest cięższe. Wyjaśnij możliwe przyczyny takich wyników.

2. Wyobraź sobie, że w czasie księżycowej nocy astronauta stojący na Księżycu otwiera puszkę pełną wody o temperaturze 20°C. Woda zaczyna jednocześnie wrzeć i zamarzać. Wyjaśnij to zjawisko.

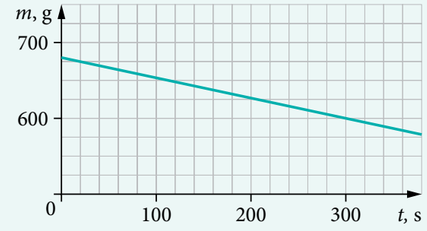
3. Czy w opisanym okresie zachodził już efekt cieplarniany w atmosferze Ziemi? Jeśli tak, to czy był silniejszy czy słabszy niż dzisiaj?

a) czasy życia dinozaurów
b) czasy panowania Mieszka I

4. Do kubka włożono grzałkę elektryczną o mocy 300 W i wlano 250 g wody. Po pewnym czasie woda zaczęła wrzeć. Kiedy zostanie jej mniej niż 50 g, grzałka może eksplodować.

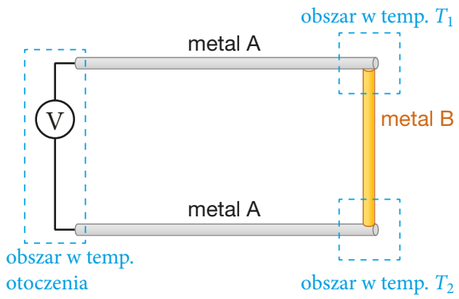
a) Wyjaśnij, dlaczego grzałka nie eksploduje, gdy jest zanurzona w dostatecznej ilości wody.
b) Oblicz, jak długo będzie trwało gotowanie wody, zanim jej ilość zmniejszy się do 50 g. Pomiń rozchlapywanie wody.

5. Kubek z wrzącą wodą i włączoną grzałką stał na wadze. Wykres przedstawia wskazania wagi w zależności od czasu. Oblicz moc grzałki.



Projekt Termopara

Cel projektu: Zbudujesz proste urządzenie wytwarzające prąd elektryczny kosztem różnicy temperatur i zbadasz jego właściwości.



Wprowadzenie:

Nazwa termopary pochodzi od słowa „para” w znaczeniu „dwie rzeczy”, a nie „gazowy stan skupienia”. Chodzi tu o dwa metale, które odpowiednio połączone (patrz schemat) pozwalają uzyskać napięcie elektryczne.

Pytania i polecenia:

- Zbuduj termoparę z substancji dostępnych na co dzień (patrz zdjęcie).
- Zmierz napięcie w niej uzyskane, gdy T_1 jest temperaturą wody z lodem, a T_2 – temperaturą wrzątku nalanego do kubka.
- Następnie zbuduj drugą termoparę z innych metali i ewentualnie kolejne. Czy uzyskane napięcie zależy od wybranych metali?
- Czy zależy od innych parametrów, a jeśli tak – to od jakich?
- Gdzie pojawia się plus, a gdzie minus?
- Czy termopary można połączyć szeregowo? A równolegle? Jakie to daje efekty?
- Jak zmienia się napięcie, gdy gorąca woda stygnie? Spróbuj narysować wykres.
- Termopary można używać do pomiaru temperatury. W jakich urządzeniach stosujemy tego typu termometr? Zapisz, z jakich źródeł czerpiesz informacje.
- W elektrowniach zamieniamy energię cieplną na energię elektryczną za pośrednictwem energii mechanicznej. Dlaczego nie stosuje się termopar do bezpośredniej zamiany ciepła na energię elektryczną na skalę przemysłową?

Wskazówki:

- Przestrzegaj zasad bezpieczeństwa podczas pracy z gorącymi substancjami.
- Termopara wytwarza bardzo niskie napięcie, używaj czułego zakresu pomiarowego.
- Ze stali są wykonywane m.in. spinacze biurowe, z miedzi – niektóre przewody elektryczne, z aluminium (glinu) – folia kuchenna.
- Do pomiaru temperatury najlepszy byłby termometr laboratoryjny, ale możesz też skorzystać z termometru zaokiennego wyjętego z obudowy (patrz s. 28).
- Wrzątek nalany do kubka ma nie 100°C, ale ok. 70–80°C.



8. Drgania i fale

Kieliszek można stłuc za pomocą dźwięku. Jak to możliwe?



11 Prawo Hooke'a



Czy aby mocniej rozciągnąć sprężynę, musimy działać większą siłą? Czy może siła jest taka sama, tylko pozycja ramion jest mniej wygodna?

Cele lekcji:

- Poznasz nowy rodzaj siły – siłę sprężystości.
- Zbadasz doświadczalnie zależność między wydłużeniem sprężyny a przyłożoną siłą.

Ruch drgający i siła sprężystości

W tym rozdziale zajmiemy się ruchem drgającym. Następnie wykorzystamy zdobyte wiadomości do opisu fal. Prostym przykładem ruchu drgającego są drgania ciała (np. ciężarka) zawieszonego na sprężynie. Dlatego nasze rozważania zaczniemy od badania **siły sprężystości**.

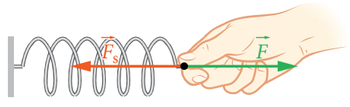
Fale to drgania rozchodzące się w przestrzeni.

Siła działająca na sprężynę a siła sprężystości

Jak wiesz z życia codziennego, aby rozciągnąć sprężynę, musimy działać na nią pewną siłą $\vec{F}$ (patrz rys.). Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki sprężyna działa wtedy na nasze dłonie siłą o tej samej wartości, ale skierowaną przeciwnie. Nazywamy ją siłą sprężystości $\vec{F}_s$.

$$F_s = F$$

Trzecia zasada dynamiki: Siły zawsze działają parami. Siły wzajemnego oddziaływania ciał mają tę samą wartość, ten sam kierunek, ale przeciwne zwroty i są przyłożone do różnych ciał.



▲ Dłoń ciągnie sprężynę siłą $\vec{F}$, sprężyna odpowiada jej siłą sprężystości $\vec{F}_s$

Od czego zależy siła potrzebna do rozciągnięcia sprężyny

Na to pytanie możemy odpowiedzieć na podstawie obserwacji z życia codziennego.

Siła potrzebna do rozciągnięcia sprężyny zależy od:

rodzaju sprężyny	przyrostu długości
Nietrudno rozciągnąć sprężynkę od długopisu, trudniej – sprężynę do ćwiczeń gimnastycznych, a sprężyny z zawieszenia samochodu gołymi rękami w ogóle nie rozciągniemy w zauważalny sposób	Aby mocniej rozciągnąć sprężynę (czyli spowodować większy przyrost jej długości), trzeba działać na nią większą siłą

Badanie zmian długości sprężyny

Zależność między zmianą długości sprężyny a siłą powodującą jej rozciągnięcie zbadamy teraz dokładniej w doświadczeniu.

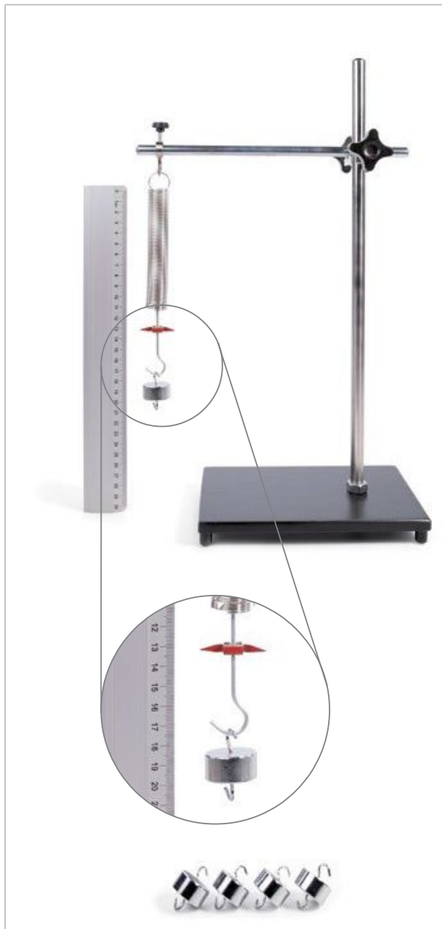
Doświadczenie 4.

Badanie rozciągania sprężyny

1. Przygotuj sprężynę, statyw, kilka ciężarków o znanej masie (lub kilka ciał o różnej masie i wagę kuchenną) oraz linijkę.
2. Powieś sprężynę na statywie i zmierz jej długość.
3. Zawieś na dolnym końcu sprężyny ciężarek (lub ciało, które zważysz na wadze). Zmierz linijką, o ile zwiększyła się długość sprężyny. Zapisz wynik tego pomiaru oraz masę użytego ciężarka.
4. Wykonaj pomiary dla różnego obciążenia sprężyny (możesz używać różnych ciężarków lub zawieszać je po kilka sztuk). Wyniki pomiarów masy obciążników i wydłużenia sprężyny za każdym razem notuj w tabeli. Wygodnie zapisać je w gramach, a następnie przeliczyć na kilogramy i wpisać do tabeli.
5. Dla każdej masy obciążnika oblicz jego ciężar i wpisz do odpowiedniej kolumny tabeli (patrz tabela z wynikami pomiarów na następnej stronie).
6. Wyniki pomiarów i obliczeń zaznacz w układzie współrzędnych: na osi poziomej zaznacz siłę rozciągającą sprężynę (równą ciężarowi zawieszonego ciała), a na osi pionowej – wydłużenie. Co zauważasz?

Uwaga. Jeśli w pracowni nie ma przyrządów podobnych do przedstawionych na zdjęciu, możesz skorzystać ze sprężyny zabawki (*slinky*), zawieszonej np. na lampie.

Jako obciążników użyj jednakowych przedmiotów, np. klipsów biurowych albo małych nożyczek. Nie musisz nawet wiedzieć, jaka jest ich masa – ważne, że dwie pary nożyczek ważą dwa razy więcej niż jedna.

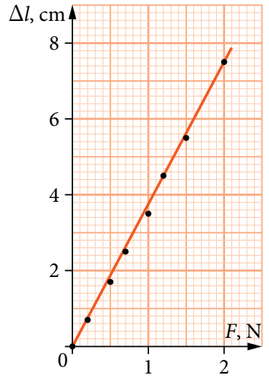


Analiza wyników doświadczenia

Oto opracowanie wyników naszych pomiarów. Podobnie możesz przeanalizować wyniki własnego doświadczenia.
Dane z tabeli przedstawiamy w układzie współrzędnych.
Widzimy, że zaznaczone punkty układają się na jednej prostej, przechodzącej przez początek układu współrzędnych. Jak już wiesz, oznacza to, że badane wielkości są wprost proporcjonalne.

Tabela. Wyniki pomiarów

Masa ciężarka, *m*		Siła *F* rozciągająca sprężynę, N	Przyrost długości sprężyny Δl, cm
g	kg		
20	0,02	0,2	0,7
50	0,05	0,5	1,7
70	0,07	0,7	2,5
100	0,10	1,0	3,5
120	0,12	1,2	4,5
150	0,15	1,5	5,5
200	0,20	2,0	7,5



▲ Zależność siły od wydłużenia

- Wartość siły F jest równa ciężarowi zawieszonego ciała: $F_g = mg$, $g \approx 10 \frac{m}{s^2}$.
- W ostatniej kolumnie zapisaliśmy tylko przyrost długości sprężyny, np. jeśli rozciągnęliśmy ją od 20 cm do 20,7 cm, to $\Delta l = 0{,}7$ cm.

Prawo Hooke'a

Wnioski z naszego doświadczenia można opisać w następujący sposób:

> Przyrost długości sprężyny Δl jest wprost proporcjonalny do działającej siły F.

Tę zależność nazywamy **prawem Hooke'a** (patrz „Z historii" na następnej stronie).

Ograniczenia prawa Hooke'a

To prawo nie jest jednak podstawowym prawem przyrody, takim jak na przykład zasada zachowania energii. Obowiązuje tylko wtedy, gdy siła jest stosunkowo niewielka, czyli w obszarze elastyczności (sprężystości) materiału. Gdy staje się zbyt duża, sprężyna rozciąga się niezgodnie z prawem Hooke'a, a w końcu – ulega zerwaniu.

Siła sprężystości a rozciągnięcie sprężyny

Mówiliśmy do tej pory o przyroście długości sprężyny wraz ze wzrostem **siły, która ją rozciąga**. A jak jest z **siłą sprężystości**, którą działa sprężyna (patrz rys. na s. 72)? Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki te siły mają równe wartości.
Zatem także siła sprężystości jest proporcjonalna do przyrostu długości sprężyny.

Z historii

Efekt świętego Mateusza

Gdy dwóch uczonych niezależnie od siebie dokona tego samego odkrycia albo gdy obaj się do niego przyczynią, sława często przypada tylko temu, kto i tak jest już bardziej znany. To zjawisko zostało nazwane efektem św. Mateusza, od słów z jego ewangelii: „Bo kto ma, temu będzie dodane, i nadmiar mieć będzie; kto zaś nie ma, temu zabiorą również to, co ma" (Mt 13, 12; tłum. wg Biblii Tysiąclecia).

Ofiarą tego właśnie zjawiska padł Robert Hooke. To on pierwszy wysunął m.in. ideę powszechnego ciążenia i wyjaśnił ruch planet jako złożenie ruchu po prostej i „spadania" na Słońce. Ponieważ jednak niedługo później Izaak Newton włączył te pomysły do swojej wielkiej teorii, więc zwykle kojarzymy je wyłącznie z Newtonem.

Podobnie stało się z projektami architektonicznymi Hooke'a. Nad odbudową Londynu po wielkim pożarze pracował on razem z Christopherem Wrenem, lecz dziś zwykle wspomina się jedynie tego drugiego.

Imieniem Hooke'a nazwano prawo opisujące sprężynę, które stanowi jedno z mniej ważnych jego osiągnięć.

Robert Hooke

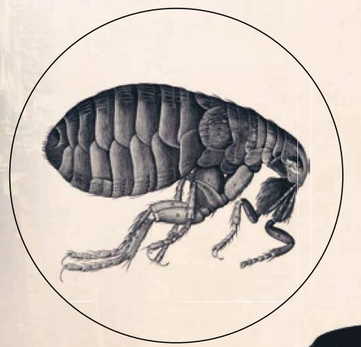


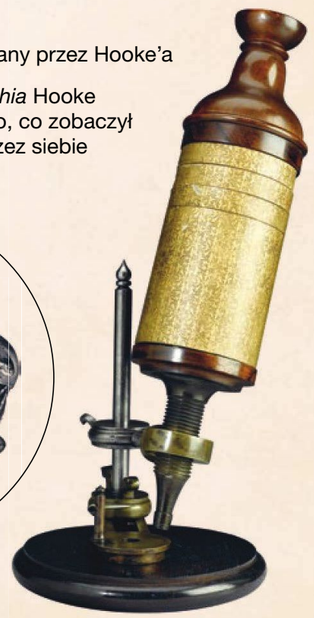
Robert Hooke (1635–1703) był nie tylko fizykiem i architektem, lecz także zdolnym konstruktorem. Jego wynalazki, takie jak pompa próżniowa i wiele przyrządów pomiarowych, pozwalały na wykonywanie nowych eksperymentów lub otrzymywanie dokładniejszych wyników. W dziedzinie biologii zasłużył się odkryciem komórek organizmów oraz badaniami nad oddychaniem zwierząt.

◀ Zaprojektowany przez Hooke'a pomnik pożaru Londynu. Wewnątrz pustej w środku kolumny znajdują się schody, po których można wejść na samą górę (co odpowiada wysokości 20. piętra). Hooke wykorzystywał ją także jako element gigantycznego teleskopu

▶ Mikroskop zbudowany przez Hooke'a

▼ W dziele *Micrographia* Hooke zamieścił rysunki tego, co zobaczył pod zbudowanym przez siebie mikroskopem





To najważniejsze

- Gdy rozciągamy sprężynę pewną siłą, sprężyna odpowiada nam zgodnie z III zasadą dynamiki siłą o tej samej wartości, zwaną **siłą sprężystości**.
- Przyrost długości sprężyny jest proporcjonalny do przyłożonej siły. Tę zależność nazywamy **prawem Hooke'a**.
- Prawo Hooke'a obowiązuje tylko dla stosunkowo niewielkich sił.

Pytania i zadania

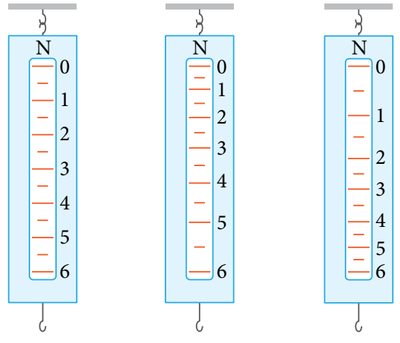
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. Zakładamy, że prawo Hooke'a jest spełnione.

1. Siła 10 N powoduje rozciągnięcie pewnej sprężyny o 5 cm. Oblicz:
a) jaka siła rozciągnie ją o 2 cm,
b) o ile rozciągnie ją siła 15 N.

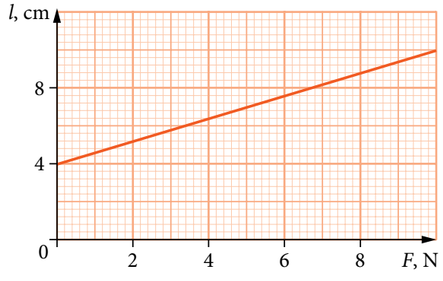
2. Przyjrzyj się siłomierzowi w pracowni albo na zdjęciu znalezionym w internecie. Czy jego skala wygląda tak jak na rysunku A, B czy C? Z jakiego prawa fizyki to wynika?

A. **B.** **C.**



3. Nieobciążona sprężyna ma długość 20 cm. Po zawieszeniu na niej obciążnika o masie 50 g długość sprężyny zwiększyła się do 22 cm. Jaka będzie jej długość, jeśli zawiesimy na niej obciążnik o masie 150 g?

4. Wykres przedstawia zależność długości sprężyny od przyłożonej do niej siły. Na podstawie wykresu odpowiedz na pytania.
a) Jaką długość miała sprężyna, gdy nie działała na nią siła?
b) Jaką długość miała sprężyna, gdy działała na nią siła 10 N?
c) Jaki przyrost długości sprężyny wywołała siła 10 N?
d) Jaki przyrost długości sprężyny wywoła siła 20 N?
e) Jaką długość będzie miała sprężyna, gdy będzie na nią działała siła 20 N?



Doświadczenie domowe

Czy gumka recepturka spełnia prawo Hooke'a?

1. Zaprojektuj doświadczenie pozwalające odpowiedzieć na pytanie zadane w tytule doświadczenia. Wykorzystaj w nim przedmioty codziennego użytku.
2. Sfotografuj układ doświadczalny oraz opisz przebieg doświadczenia i jego wyniki.



12 Opis ruchu drgającego



Do czego służy przyrząd stojący na pianinie?

Cele lekcji:
- Przypomnisz sobie pojęcia służące do opisu ruchu drgającego.
- Nauczysz się uzyskiwać doświadczalnie wykres ruchu drgającego i go analizować.

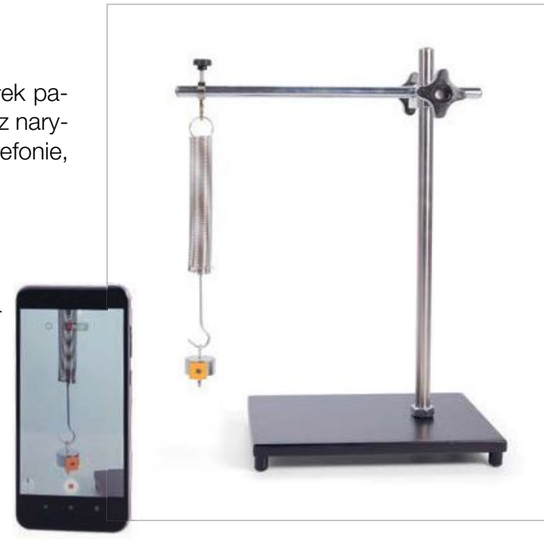
Wykres ruchu drgającego

W klasie pierwszej zaproponowaliśmy wam program Tracker, służący do szybkiego uzyskiwania wykresów opisujących ruch ciał. Skorzystamy z niego także w tym przypadku.

Doświadczenie 5.

Badanie ruchu drgającego

1. Przygotuj statyw, sprężynę, ciężarek, mały kawałek papieru (ok. 1 cm × 1 cm) w kontrastowym kolorze z narysowaną innym kolorem kropką, kamerę, np. w telefonie, komputer z programem Tracker.
2. Zawieś na statywie sprężynę, a na niej ciężarek.
3. Do ciężarka przyklej kawałek papieru z kropką.
4. Zaznacz na statywie wysokość, na jakiej znajduje się kropka w chwili, gdy ciężarek jest nieruchomy.
5. Pociągnij ciężarek w dół i puść. Sfilmuj ruch ciężarka.
6. Za pomocą programu Tracker stwórz wykres zależności położenia ciężarka od czasu.



Uwagi do doświadczenia

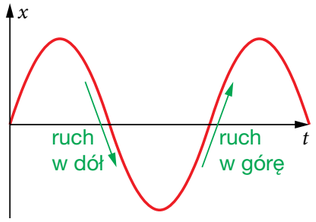
1. Oś x w programie ustaw pionowo w górę. Jako zero na osi x przyjmij wysokość zaznaczoną na statywie. Aby ustalić skalę, porównaj np. wysokość statywu na ekranie ze zmierzoną w rzeczywistości za pomocą linijki.

2. Możesz użyć sprężyny zabawki (*slinky*). Jeden koniec zamocuj na przykład do lampy, a na drugi nawlecz duży klips biurowy albo małe nożyczki.

Kształt wykresu – sinusoida

Wygląd wykresu nie stanowi zaskoczenia: wznosi się do góry, później opada, znów się wznosi itd. Odpowiada to ruchowi ciężarka. Celowo wybraliśmy oś x ustawioną do góry, aby jej kierunek na wykresie był taki sam jak w rzeczywistości (patrz rys. obok).

Krzywą, która jest wykresem ruchu ciężarka drgającego na sprężynie, nazywamy **sinusoidą**, ponieważ jest to wykres funkcji trygonometrycznej sinus.



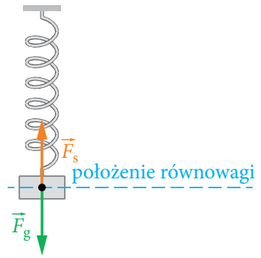
▲ Wykres opisujący ruch ciężarka łatwo analizować, ponieważ kierunek ruchu góra–dół jest na wykresie taki sam jak w rzeczywistości

Położenie równowagi

Miejsce, w którym początkowo ciężarek spoczywał, to **położenie równowagi**. Nazwa bierze się stąd, że w tym punkcie siła sprężystości $\vec{F}_s$, która ciągnie ciężarek w górę, **równoważy** jego ciężar $\vec{F}_g$ (patrz rys. obok).

Położenie równowagi to punkt, w którym siły działające na ciało się równoważą.

Dlatego ciężarek w położeniu równowagi może spoczywać. Gdy jednak wychylimy go z tego położenia, zaczyna się poruszać – o działających wtedy siłach powiemy więcej w następnej lekcji.



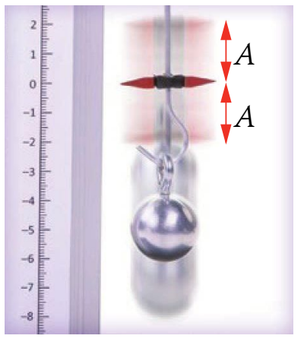
▲ W położeniu równowagi ciężar $\vec{F}_g$ oraz siła sprężystości $\vec{F}_s$ się równoważą

Amplituda

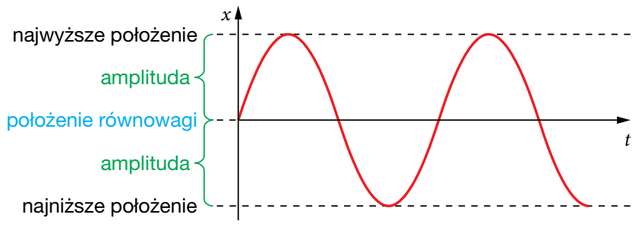
Z wykresu opisującego ruch ciężarka (patrz rys. na następnej stronie u góry) wynika, że maksymalne wychylenia w górę i w dół znajdują się w tej samej odległości od położenia równowagi.

Jak wiesz ze szkoły podstawowej, odległość między maksymalnym wychyleniem a położeniem równowagi to **amplituda drgań**. Amplitudę drgań oznaczamy A i wyrażamy w jednostkach długości, np. w metrach.

Uwaga. W niektórych dziedzinach pojęcie amplitudy rozumiemy inaczej. Na przykład dobowa amplituda temperatury to różnica między maksymalną a minimalną temperaturą w ciągu doby.



▲ Amplituda drgań to maksymalne wychylenie z położenia równowagi

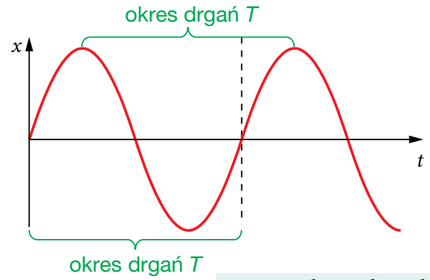


◀ Amplitudę ruchu drgającego można odczytać z wykresu

Okres drgań

W opisie ruchu interesuje nas także, jak długo trwa cały cykl drgań (np. od maksymalnego wychylenia ciężarka w górę do następnego maksymalnego wychylenia w górę).

Czas trwania pełnego cyklu drgań to **okres drgań**.



◀ Okres drgań można odczytać z wykresu

W praktyce okres drgań najłatwiej odczytywać na podstawie punktów przecięcia wykresu z osią czasu.

Zauważ, że czas ruchu od maksymalnego wychylenia w jedną stronę do maksymalnego wychylenia w drugą stronę to tylko pół okresu drgań.

Okres oznaczamy T i wyrażamy w jednostkach czasu, zwykle w sekundach.

Częstotliwość drgań

W wielu sytuacjach ważne jest także, jak wiele okresów przypada na jednostkę czasu, np. na 1 s. Wielkością, która o tym informuje, jest częstotliwość.

Liczbę okresów przypadającą na jednostkę czasu nazywamy **częstotliwością**.

Częstotliwość oznaczamy literą f. Jej jednostką jest **herc**: $1\,\text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}$.
Częstotliwość jest równa odwrotności okresu:

$$f = \frac{1}{T}$$

Na przykład jeśli okres trwa:
- $\frac{1}{5}$ s, to na 1 s przypada 5 cykli drgań, czyli częstotliwość wynosi 5 Hz,
- 5 s, to na 1 s przypada tylko $\frac{1}{5}$ cyklu drgań, czyli częstotliwość wynosi $\frac{1}{5}$ Hz.

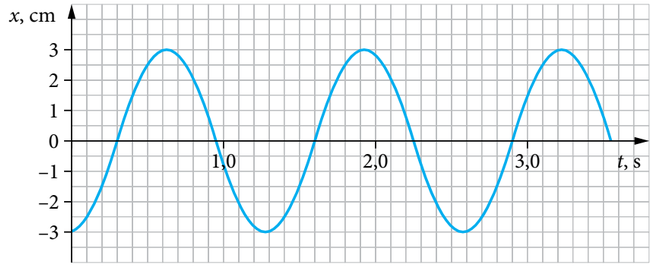
Odczytywanie z wykresu wielkości opisujących ruch

Przed chwilą pokazaliśmy, że zarówno amplitudę, jak i okres ruchu drgającego możemy odczytać z wykresu. Jeśli interesuje nas częstotliwość ruchu, obliczamy ją na podstawie okresu.

Przykład

Analiza wykresu ruchu drgającego

Określ amplitudę, okres i częstotliwość ruchu drgającego przedstawionego na wykresie zależności położenia od czasu.

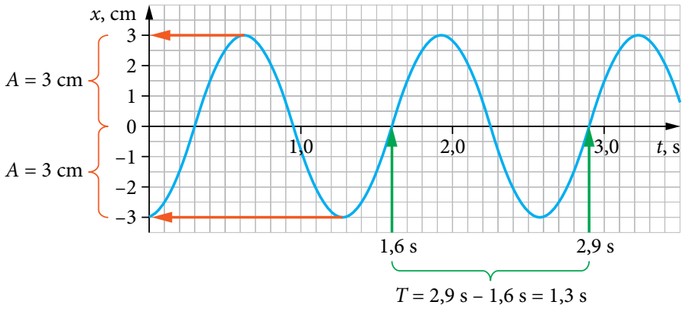


Podobnym wykresem opisujemy zarówno ruch ciężarka na sprężynie, ruch wahadła, jak i wiele innych przykładów drgań.

Rozwiązanie:

Odczytanie amplitudy

Na rysunku poniżej czerwone strzałki pokazują, jak odczytać maksymalne odchylenie ciała w każdą stronę. Widzimy, że wynosi ono $A = 3$ cm.



Okres to czas trwania pełnego cyklu drgań – patrz zielona klamra. **Amplituda** to maksymalne wychylenie z położenia równowagi – patrz czerwone strzałki.

Odczytanie okresu drgań

Aby określić okres drgań, najłatwiej jest znaleźć punkty przecięcia wykresu z osią czasu, które oznaczają chwile przejścia ciała przez położenie równowagi.

Trzeba tylko pamiętać, że cały cykl zawiera się między tymi kolejnymi momentami przejścia ciała przez położenie równowagi, w których ciało **poruszało się w tę samą stronę** (np. w górę).

Takie chwile zaznaczono zielonymi strzałkami. Jak widać, na naszym wykresie są to chwile 1,6 s i 2,9 s. Wobec tego okres wynosi:

$$T = 2{,}9\ \text{s} - 1{,}6\ \text{s} = 1{,}3\ \text{s}$$

Obliczenie częstotliwości

Kiedy już odczytaliśmy z wykresu okres drgań, możemy ze wzoru $f = \frac{1}{T}$ obliczyć częstotliwość:

$$f = \frac{1}{1{,}3\ \text{s}} \approx 0{,}77\ \text{Hz}$$

Odpowiedź: Amplituda ruchu przedstawionego na wykresie wynosi 3 cm, okres drgań 1,3 s, a ich częstotliwość ok. 0,77 Hz.

A to ciekawe

Ruch drgający służy nam do wyznaczania czasu nie tylko w starych zegarach z wahadłem. Zegarek elektroniczny działa dzięki zliczaniu drgań kryształka kwarcu. Jednak zegary to nie jedyne zastosowanie drgań. Na przykład muzycy korzystają z metronomów – urządzeń stukających lub pikających w równych odstępach czasu, które pomagają im utrzymać równe tempo podczas ćwiczenia utworów. Okres drgań metronomu można dostosować do granego utworu.



To najważniejsze

- Ciało spoczywające w położeniu równowagi rozpoczyna ruch dopiero po wychyleniu go z tego położenia – zaczyna wtedy drgać wokół niego.
- **Amplituda** A to maksymalne wychylenie ciała z położenia równowagi.
- **Okres** T to czas pełnego cyklu drgań, a **częstotliwość** f to liczba okresów na sekundę. Częstotliwość jest równa odwrotności okresu: $f = \frac{1}{T}$.
- Amplitudę wyrażamy w jednostkach długości, a okres – w jednostkach czasu. Jednostką częstotliwości jest **herc**: $1\ \text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}$.

Pytania i zadania

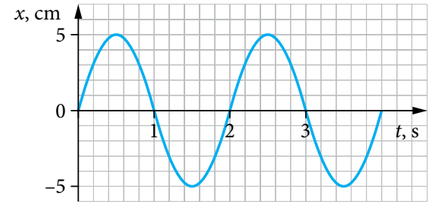
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Dziecko buja się na huśtawce. Od jednego do drugiego maksymalnego wychylenia do przodu mijają 2 s. Oblicz okres i częstotliwość tych drgań.



2. Ciężarek drga na sprężynie. W najwyższym położeniu znajduje się 14 cm nad stołem, a w najniższym jest 8 cm nad stołem. Oblicz amplitudę drgań.

3. P Przeanalizuj wykres położenia od czasu i określ amplitudę, okres i częstotliwość drgań ciała.



4. Naszkicuj wykres przedstawiający ruch drgający o amplitudzie 3 cm i okresie 0,5 s.

Doświadczenie domowe

Ruch drgający

1. Sfilmuj przykład ruchu drgającego w swoim otoczeniu.

2. Na podstawie nagranego filmu wyznacz okres drgań i oblicz ich częstotliwość. Do opracowania filmu możesz wykorzystać program Tracker.



13 Wahadło sprężynowe



Gimnastyczka ćwiczy, zawieszona na elastycznej linie. Czy gdyby była cięższa, wahałaby się szybciej?

Cele lekcji:

- Zrozumiesz, w jaki sposób siły działające na ciało zawieszone na sprężynie powodują jego ruch drgający.
- Zbadasz, jak okres tego ruchu zależy od masy ciężarka.

Siły działające na ciężarek zawieszony na sprężynie

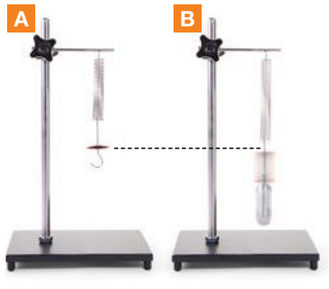
W poprzedniej lekcji opisywaliśmy ruch ciężarka zawieszonego na sprężynie, czyli **wahadła sprężynowego**. Teraz wyjaśnimy przyczyny tego ruchu.

Spójrz na diagram na sąsiedniej stronie. Na ciężarek zawieszony na sprężynie działa:

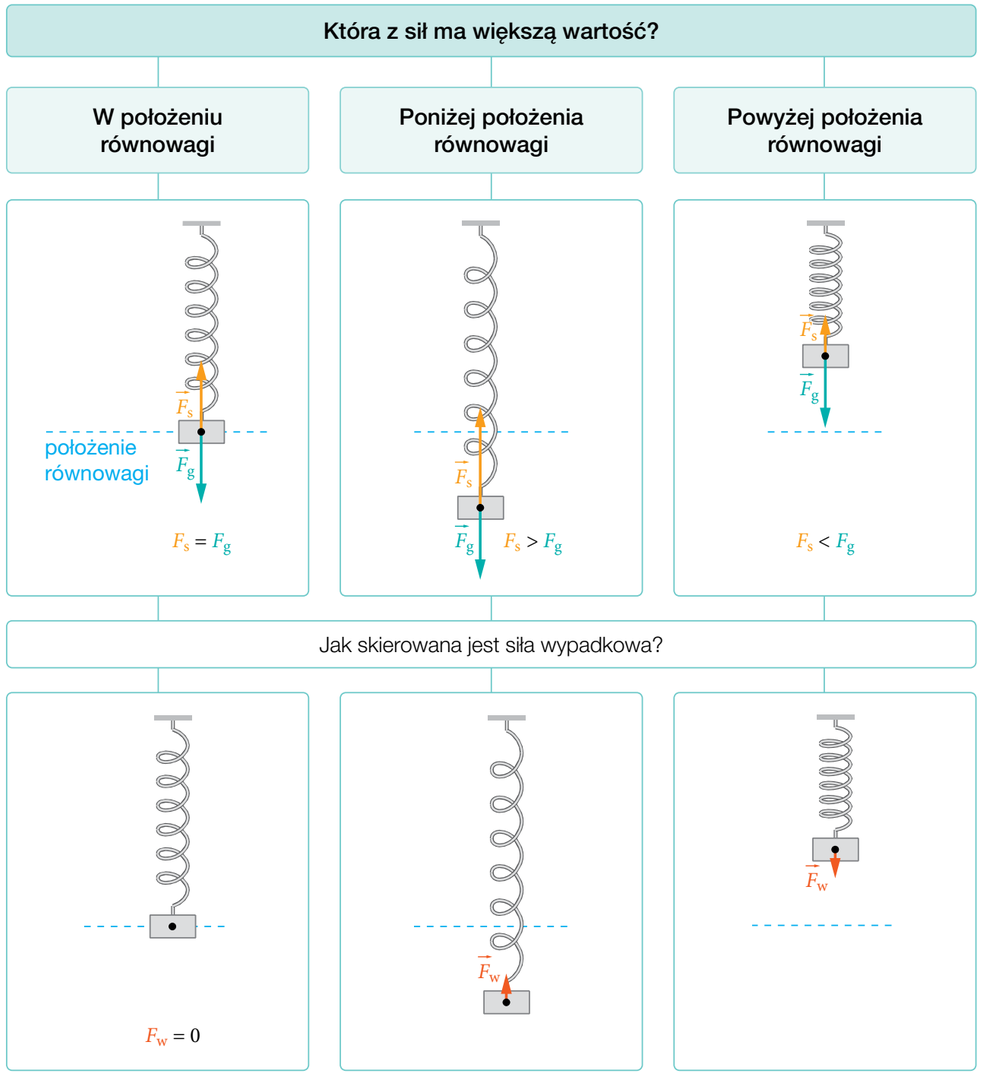
- siła ciężkości $\vec{F}_g$, skierowana w dół, o stałej wartości,
- siła sprężystości $\vec{F}_s$, skierowana w górę, o wartości tym większej, im bardziej rozciągnięta jest sprężyna, czyli im niżej jest ciężarek.

Zastanówmy się teraz, która z tych sił ma większą wartość i w którą stronę jest zwrócona ich wypadkowa. Okazuje się, że w czasie ruchu to się zmienia.

Uwaga. Rozważamy ruch, w którym sprężyna nigdy nie jest ściśnięta do długości mniejszej niż jej długość bez obciążenia (rys. A i B).



▲ A Sprężyna bez obciążenia. B Drgające wahadło sprężynowe



Niezależnie od tego, czy ciężarek znajduje się poniżej czy powyżej położenia równowagi, zwrot działającej na niego siły wypadkowej możemy opisać w ten sam sposób:

Siła wypadkowa zawsze jest skierowana w stronę położenia równowagi.

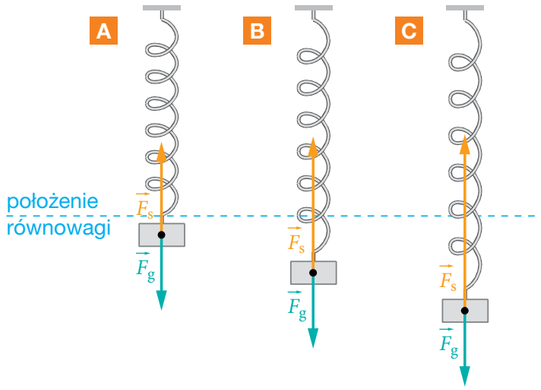
To tłumaczy, dlaczego wychylony i puszczony ciężarek wraca do położenia równowagi. Ale dlaczego się tam nie zatrzymuje? Dzieje się tak z powodu bezwładności. W położeniu równowagi ciężarek ma pewną prędkość i dopiero wtedy, gdy to położenie przekroczy, pojawia się siła, która go hamuje. Hamowanie także zajmuje pewien czas, nie jest natychmiastowe.

Od czego zależy wartość siły wypadkowej

Porównajmy teraz kilka położeń ciężarka poniżej położenia równowagi (patrz rys. na następnej stronie). Jak widzisz, im dalej znajduje się on od położenia równowagi, tym większa jest siła sprężystości, podczas gdy siła ciężkości pozostaje stała.

Im dalej od położenia równowagi znajduje się ciężarek, tym większa siła wypadkowa na niego działa.

Narysuj samodzielnie analogiczne rysunki dla trzech położeń ciężarka powyżej położenia równowagi, a zobaczysz, że wtedy także spełniona jest ta sama reguła.



Im dalej od położenia równowagi, tym bardziej różnią się $\vec{F}_s$ i $\vec{F}_g$.

Analizę ruchu wahadła sprężynowego przedstawiono w poniższym przykładzie.

Przykład

Analiza ruchu wahadła sprężynowego

Ciężarek wahadła sprężynowego znajduje się powyżej położenia równowagi i porusza się w górę.

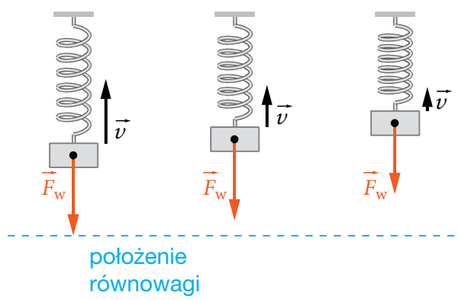
a) Jak jest zwrócona siła wypadkowa?

b) Czy wartość siły wypadkowej rośnie, maleje czy pozostaje bez zmian?

c) Czy wartość prędkości ciężarka rośnie, maleje czy pozostaje bez zmian?

Rozwiązanie:

a) Siła wypadkowa zawsze jest zwrócona w stronę położenia równowagi. A skoro ciężarek znajduje się powyżej tego położenia, to siła wypadkowa jest skierowana w dół.



b) Ciężarek porusza się w górę, więc za chwilę znajdzie się wyżej, czyli dalej od położenia równowagi. Im jest od niego dalej, tym większa jest wartość siły wypadkowej. Tak więc **wartość siły wypadkowej rośnie**.

c) Ciężarek oddala się od położenia równowagi, a więc zwalnia, czyli jego **prędkość maleje**. Do tego samego wniosku dojdziemy także w inny sposób: siła działa przeciwnie do zwrotu prędkości, a więc powoduje hamowanie ciężarka.

Odpowiedź: W opisanej sytuacji siła wypadkowa jest skierowana w dół i jej wartość rośnie, natomiast wartość prędkości maleje.

Od czego zależy okres wahadła sprężynowego

Sprawdźmy teraz doświadczalnie, jak zmienia się okres drgań wahadła sprężynowego, gdy zamienimy ciężarek na inny, o innej masie.

Doświadczenie obowiązkowe

Badanie zależności okresu wahadła od masy

1. Przygotuj statyw, sprężynę, stoper (np. w telefonie) i kilka obciążników o różnych masach.
2. Powieś na statywie sprężynę, a na niej jeden z obciążników.
3. Wpraw obciążnik w ruch drgający i zmierz okres drgań.
4. Wykonaj analogiczne pomiary dla każdego z pozostałych obciążników i porównaj wyniki.

Uwagi:

- Jeśli masz tylko jednakowe obciążniki, możesz najpierw powiesić jeden taki obciążnik, a następnie – dwa, trzy itd.
- Możesz użyć sprężyny *slinky* i klipsa biurowego albo małych nożyczek.
- Okres drgań możesz wyznaczyć dokładniej na podstawie pomiaru kilkudziesięciu cykli drgań.



Analiza wyników doświadczenia

W naszym doświadczeniu użyliśmy pięciu obciążników o różnych masach. Dla każdego z nich zmierzyliśmy czas trwania 40 okresów, a następnie na tej podstawie obliczyliśmy pojedynczy okres. Wyniki pomiarów okresu dla różnych obciążników podano w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki pomiarów

m, g	20	50	70	100	120
$40T$, s	11	14	16	19	21
T, s	0,28	0,35	0,40	0,48	0,53

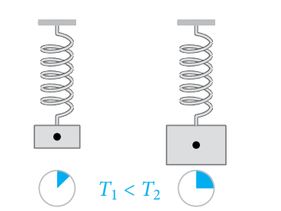
Jak widać, im większa jest masa obciążnika, tym dłuższy jest okres drgań. Musi to wynikać z czegoś więcej niż tylko z niepewności pomiaru, ponieważ różnice długości trwania 40 okresów dochodzą do 10 s, a w naszych pomiarach dokładność nie była gorsza niż 1 s. Z czego wynika odkryta przez nas zależność?

Wyjaśnienie wyników doświadczenia

Aby ją wyjaśnić, musimy sobie przypomnieć, że masa określa bezwładność ciała. Większą masę trudniej wprawić w ruch, a potem zatrzymać. Wobec tego cykl drgań trwa dłużej dla ciężarka o większej masie.

Czy okres jest proporcjonalny do masy

Wraz ze wzrostem masy ciężarka wzrasta jego okres drgań, ale nie jest to przykład proporcjonalności prostej. Okres nie wzrasta tyle samo razy co masa ciężarka.



Prawy ciężarek ma większą masę, więc okres jego drgań jest większy

To najważniejsze

- **Wahadło sprężynowe** to ciężarek (obciążnik) zawieszony na sprężynie.
- Na taki ciężarek działają dwie siły: **siła ciężkości** oraz **siła sprężystości sprężyny**.
- W położeniu równowagi siły ciężkości i sprężystości się równoważą, a w każdym innym położeniu ich **wypadkowa jest skierowana w stronę położenia równowagi**.
- Im większa masa ciężarka, tym dłuższy okres drgań.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. P Ciężarek wahadła sprężynowego znajduje się poniżej położenia równowagi i porusza się w górę.

a) Jak jest zwrócona siła wypadkowa?

b) Czy wartość siły wypadkowej rośnie, maleje czy pozostaje bez zmian?

c) Czy wartość prędkości ciężarka rośnie, maleje czy pozostaje bez zmian?

Ilustracja do zadań 2. i **3.** przedstawia kolejne położenia wahadła sprężynowego, oznaczone literami.

2. Przepisz do zeszytu poprawnie uzupełnione zdania. Wpisz w zakreślone miejsca odpowiednie litery.

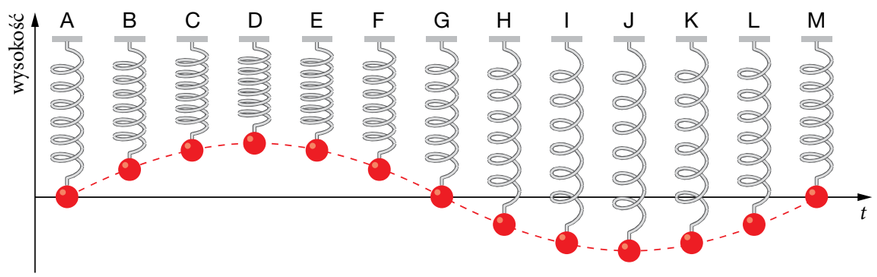
Prędkość chwilowa ciężarka jest równa zeru w położeniach ▨ i ▨.

W położeniach ▨, ▨, ▨, ▨, ▨ i ▨ ciężarek porusza się w górę.

W położeniach ▨, ▨, ▨ i ▨ wartość prędkości ciężarka rośnie.

3. Określ, w którą stronę (w górę czy w dół) jest zwrócona siła wypadkowa działająca na ciężarek w położeniach B, F, H, K.

4. Na jednakowych sprężynach zawieszono dwa różne obciążniki A i B. Okazało się, że obciążnik A drga z większą częstotliwością niż obciążnik B. Który z nich ma większą masę?



Doświadczenie domowe

Czy okres drgań wahadła sprężynowego zależy od amplitudy drgań?

Zaprojektuj i przeprowadź doświadczenie pozwalające odpowiedzieć na to pytanie. Możesz skorzystać ze sprężyny zabawki *slinky*.



14 Przemiany energii w ruchu drgającym



Dlaczego bieg po plaży jest tak męczący w porównaniu z biegiem po twardym podłożu?

Cele lekcji:

- Przypomnisz sobie jedną z form energii – energię potencjalną sprężystości.
- Nauczysz się dostrzegać przemiany energii w ruchu drgającym.

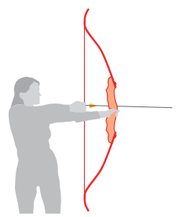
Energia potencjalna sprężystości

Gdy rozciągamy sprężynę albo napinamy łuk, wykonujemy pewną pracę. Tę pracę możemy później odzyskać: sprężyna może napędzać jakiś mechanizm, a łuk może wprawić w ruch strzałę (patrz diagram).

Taka zmagazynowana praca to energia. Stąd wniosek, że z naprężeniem ciała jest związana pewna energia. Nazywamy ją **energią potencjalną sprężystości** (E_{ps}).

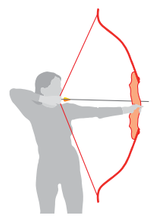
Przemiany energii podczas strzału z łuku

Naciągamy łuk



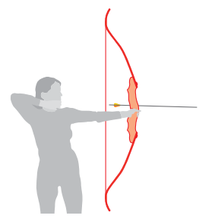
Łucznik wykonuje pracę. E_{ps} łuku rośnie

Łuk jest naciągnięty



Praca wykonana przez łucznika została zmagazynowana jako E_{ps} łuku

Cięciwa zostaje puszczona



E_{ps} łuku wykorzystana jest do wykonania pracy – napędzenia strzały

Z energią potencjalną sprężystości mamy do czynienia także we własnym organizmie. Gdy stawiamy krok, ciało porusza się w dół, ale część energii jego ruchu jest magazynowana w formie E_{ps} więzadeł, a następnie odzyskiwana wtedy, gdy odbijamy się od podłoża. Sprężyste buty zwiększają ten efekt, natomiast miękkie podłoże go osłabia.

Przemiany energii w ruchu wahadła sprężynowego

Sprężyna, na której drga ciężarek, jest raz mocniej, a raz słabiej napięta, więc podczas jego ruchu zmienia się jej energia potencjalna sprężystości. Dwie inne formy energii, które powinniśmy rozważyć, to energia kinetyczna i energia potencjalna grawitacji.

Formy energii w ruchu wahadła sprężynowego

Energia kinetyczna E_k	Energia potencjalna sprężystości E_{ps}	Energia potencjalna grawitacji E_{pg}
Jest tym większa		
im szybciej porusza się ciężarek	im mocniej napięta jest sprężyna (czyli im niżej znajduje się ciężarek)	im wyżej znajduje się ciężarek

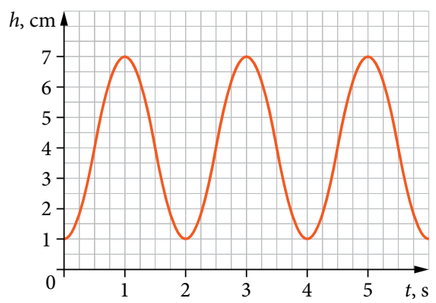
Jeśli pominiemy opory ruchu, to energia całkowita ($E_k + E_{ps} + E_{pg}$) jest stała.

Analizę przemian energii w ruchu ciężarka na sprężynie przedstawiono na infografice na s. 90–91. Jak na podstawie wykresu opisać przemiany energii w ruchu drgającym, pokazano w przykładzie.

Przykład

Opis przemian energii na podstawie wykresu

Na wykresie przedstawiono zależność położenia ciężarka na sprężynie (liczonego względem poziomu stołu) od czasu. Rozważmy chwilę $t_1 = 1{,}75$ s.



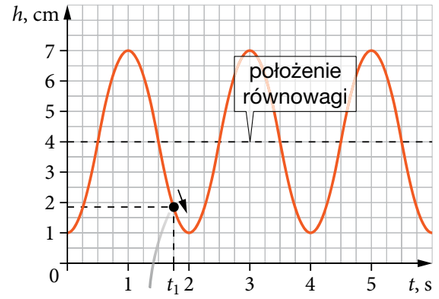
a) Określ, w którą stronę poruszał się ciężarek w chwili t_1 i jak zwrócona była działająca na niego siła wypadkowa.
b) Określ, jakie przemiany energii zachodziły w chwili t_1.

Rozwiązanie:

Określenie położenia równowagi

Wysokość nad stołem zmienia się od 1 cm do 7 cm, a położenie równowagi to średnia z tych wielkości, czyli $h_0 = 4$ cm.

Określenie położenia ciężarka i jego ruchu w chwili t_1

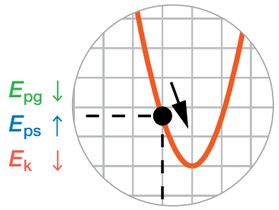


Z wykresu wynika, że ciężarek znajdował się poniżej położenia równowagi i poruszał się w dół.

Określenie zwrotu siły

Ciężarek znajdował się poniżej położenia równowagi, a siła wypadkowa działa zawsze w stronę tego położenia, a więc w tym przypadku – **w górę.**

Określenie zmian poszczególnych form energii



Ciężarek:
- poruszał się w dół, więc jego E_{pg} malała,
- poruszał się w dół, więc jego E_{ps} rosła,
- poruszał się coraz wolniej, więc jego E_k malała.

Określenie przemian energii

Opisane powyżej zmiany poszczególnych form energii pokazały, że **E_k i E_{pg} zamieniały się w E_{ps}.**

Odpowiedź: W chwili t_1 ciężarek poruszał się w dół, działała na niego siła wypadkowa skierowana w górę, a jego energia kinetyczna i energia potencjalna grawitacji zamieniały się w energię potencjalną sprężystości.

To najważniejsze

- Gdy rozciągamy sprężynę, wykonujemy pracę i zwiększamy energię potencjalną sprężystości tej sprężyny.
- W ruchu ciężarka na sprężynie przemianom ulegają: **energia kinetyczna**, **energia potencjalna sprężystości** i **energia potencjalna grawitacji**.

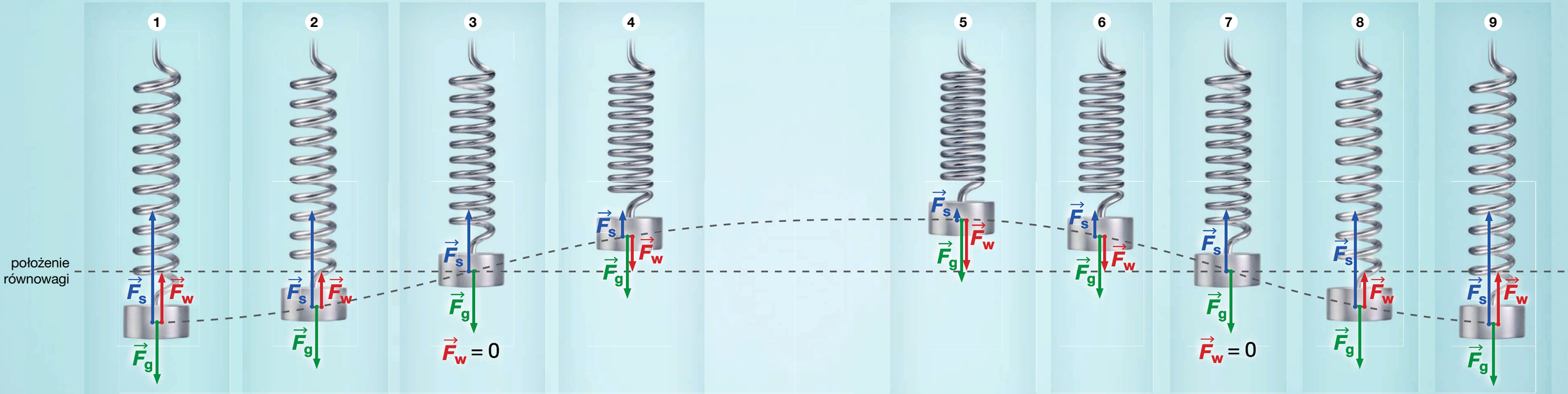
Pytania i zadania ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Z wykresu do przykładu na poprzedniej stronie:
- **a)** odczytaj amplitudę i okres drgań ciężarka,
- **b)** (P) odpowiedz na pytania do przykładu, ale dla chwili $t_2 = 5{,}25$ s.

2. Ciężarek wahadła sprężynowego znajduje się poniżej położenia równowagi i porusza się w górę.
- **a)** Opisz, w którą stronę jest skierowana działająca na niego siła wypadkowa.
- **b)** Określ, czy jego prędkość zmniejsza się czy zwiększa.
- **c)** Opisz przemiany energii zachodzące w jego ruchu.
- ***d)** Określ, czy jego całkowita energia potencjalna ($E_{ps} + E_{pg}$) zmniejsza się czy zwiększa.

Ciężarek na sprężynie

W położeniu równowagi siły działające na ciężarek się równoważą.
A co się stanie, gdy pociągniemy go w dół i puścimy?

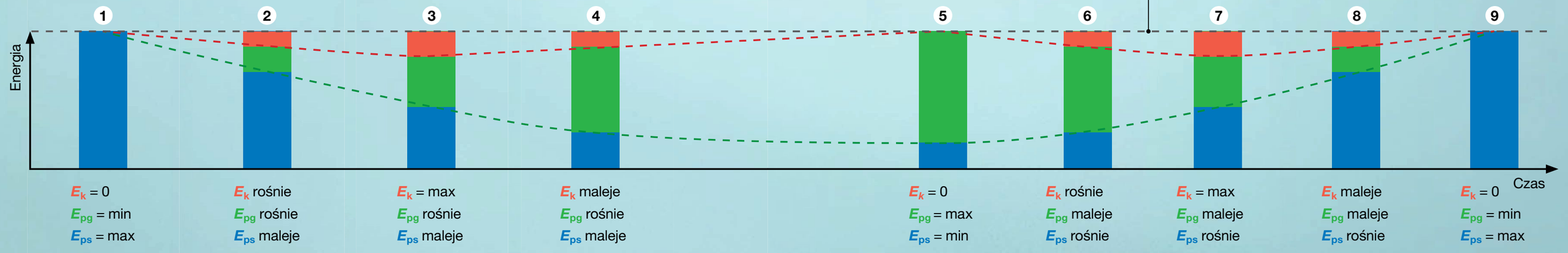


1. Po rozciągnięciu sprężyny siła sprężystości F_s ma większą wartość niż siła ciężkości F_g. Wypadkowa tych sił F_w nadaje ciężarkowi przyspieszenie skierowane do góry.
2. Siła wypadkowa F_w nadal rozpędza ciężarek w stronę położenia równowagi.
3. W położeniu równowagi siła wypadkowa $F_w = 0$ N, ale ciężarek porusza się dalej dzięki swojej bezwładności.
4. Powyżej położenia równowagi siła wypadkowa jest zwrócona w dół i powoduje hamowanie ciężarka.
5. Ciężarek zatrzymuje się – osiąga maksymalne wychylenie w górę. Wypadkowa sił cały czas jest zwrócona w dół – zaczyna się ruch w stronę położenia równowagi.
6. Siła wypadkowa F_w rozpędza ciężarek w stronę położenia równowagi.
7. W położeniu równowagi siła wypadkowa $F_w = 0$ N, ale ciężarek porusza się dalej dzięki swojej bezwładności.
8. Poniżej położenia równowagi siła wypadkowa jest zwrócona w górę i powoduje hamowanie ciężarka.
9. Ciężarek zatrzymuje się – osiąga maksymalne wychylenie w dół. Siła wypadkowa jest zwrócona w górę. Zaczyna się ruch w stronę położenia równowagi.

Przemiany energii w ruchu wahadła sprężynowego

Przemianom ulegają trzy formy energii:

- **kinetyczna** E_k – tym większa, im szybciej porusza się ciężarek,
- **potencjalna grawitacji** E_{pg} – tym większa, im wyżej się on znajduje,
- **potencjalna sprężystości** E_{ps} – tym większa, im mocniej rozciągnięta jest sprężyna.



15 Rezonans



Jak to możliwe, że piesi idący po wielkim stalowym moście mogli spowodować jego niebezpieczne drgania?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, co to jest rezonans i jak można go wywołać.
- Poznasz zastosowania rezonansu i związane z nim niebezpieczeństwa.

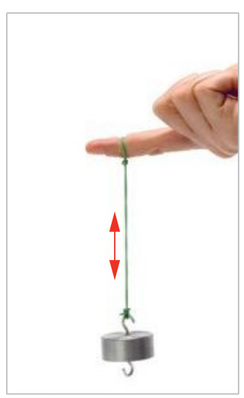
Obserwujemy rezonans

Struna gitary brzmi cicho, ale może wprawić pudło rezonansowe w drgania, których efektem jest głośny dźwięk. Popychając huśtawkę z dzieckiem słabo, ale we właściwym rytmie, możemy ją rozhuśtać. Wreszcie, zwyczajne kroki osób na moście mogą wprawić go w duże drgania. We wszystkich tych sytuacjach mamy do czynienia z **rezonansem**. Rozważania na temat tego zjawiska zaczniemy od doświadczenia.

Doświadczenie obowiązkowe

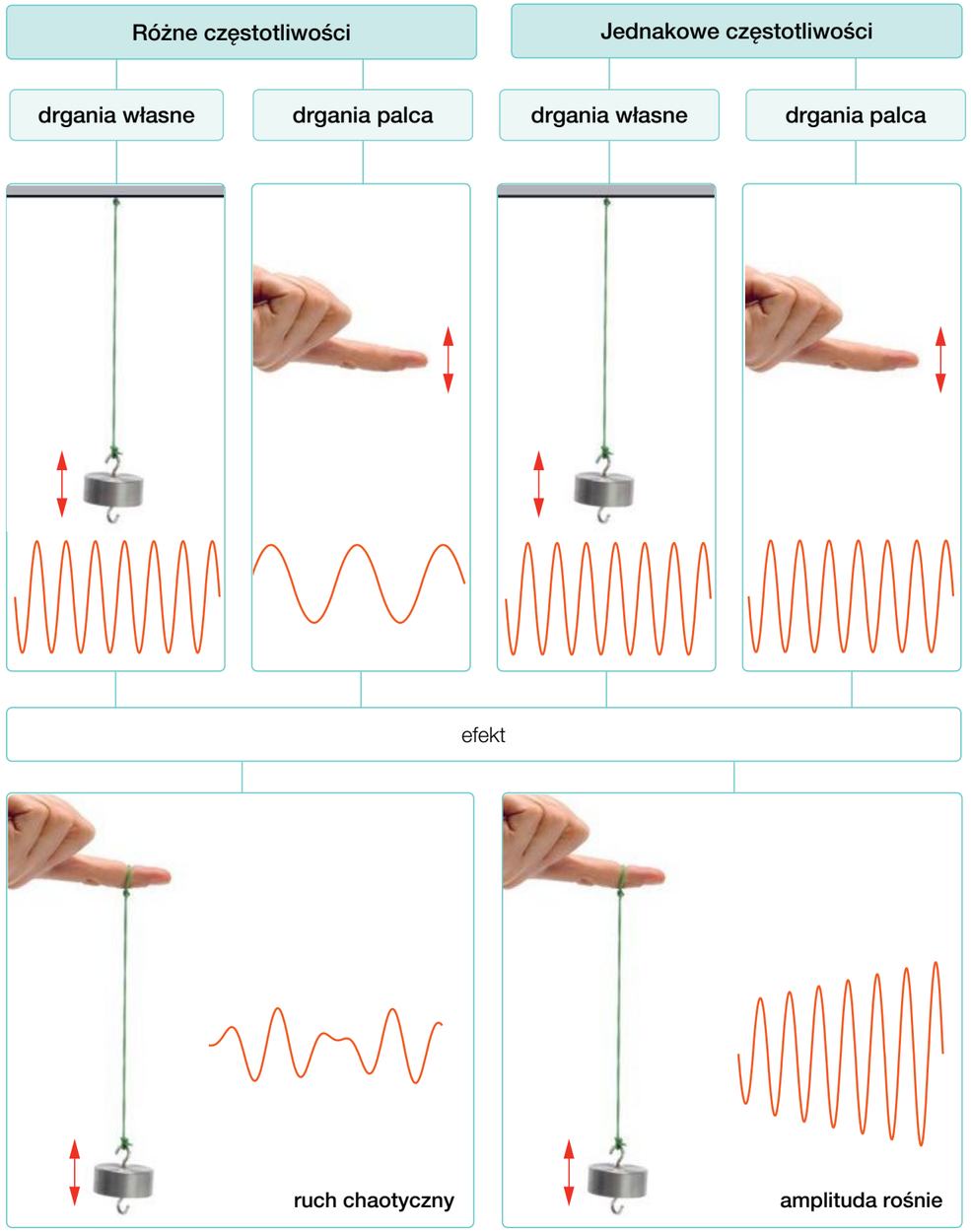
Demonstracja zjawiska rezonansu

1. Przygotuj gumkę recepturkę, ciężarek, stoper lub zegarek z sekundnikiem.
2. Rozetnij gumkę recepturkę. Do jej jednego końca przywiąż ciężarek, a drugi koniec przywiąż sobie do palca.
3. Wpraw ciężarek w ruch w pionie. Poproś drugą osobę, aby za pomocą stopera wyznaczyła okres i częstotliwość drgań ciężarka.
4. Poruszaj rytmicznie palcem w górę i w dół. Znajdź taką częstotliwość, aby amplituda drgań ciężarka wzrastała.
5. Zastanów się, co to za częstotliwość.



Wyjaśnienie przebiegu doświadczenia

Ciężarek wprawiony w ruch i pozostawiony samemu sobie wykonuje drgania o pewnej określonej częstotliwości, zwanej **częstotliwością drgań własnych**. Gdy na drgający ciężarek zadziałamy siłą zewnętrzną, którą będziemy dowolnie zmieniać, spowodujemy zaburzenia w jego ruchu. Największy efekt uzyskamy dla częstotliwości drgań palca równej częstotliwości drgań własnych ciężarka. W takim przypadku amplituda drgań ciężarka znacznie wzrasta, tak jak to obserwowaliśmy w doświadczeniu. Te sytuacje przedstawiamy na diagramie.



Podsumujmy:

> Gdy częstotliwość zmian siły zewnętrznej działającej na drgające ciało jest równa częstotliwości drgań własnych tego ciała, amplituda drgań szybko wzrasta. Takie zjawisko nazywamy **rezonansem**.

Amplituda mogłaby rosnąć w nieskończoność, ale w miarę jej wzrostu rosną też straty energii. Amplituda rośnie więc aż do osiągnięcia wartości, przy której energia dostarczana drgającemu ciału jest równa energii przez niego traconej.

O zastosowaniach rezonansu i jego nieprzewidzianych skutkach dowiesz się z infografiki na s. 95. Teraz omówimy bardziej szczegółowo dwa przykłady.

Przypadek mostu Millennium Bridge

Choć od dawna wiadomo, jak niebezpieczne może być wprawienie w rezonans mostu, nawet współcześnie zdarzają się błędy w projektowaniu takich konstrukcji. Most dla pieszych w Londynie o nazwie Millennium Bridge, oddany w 2000 r., zaczął się niebezpiecznie kołysać na boki, gdy weszli na niego ludzie.

Okazało się, że piesi wzmacniali początkowo niewielkie drgania mostu, ponieważ odruchowo się przechylali, aby zachować równowagę. Ich ruch miał więc taką samą częstotliwość jak drgania mostu i prowadził do wzmocnienia tych drgań. Most zamknięto i ponownie otworzono dopiero dwa lata później, po zamontowaniu w nim amortyzatorów, tłumiących drgania (patrz zdjęcie).

Magnetyczny rezonans jądrowy

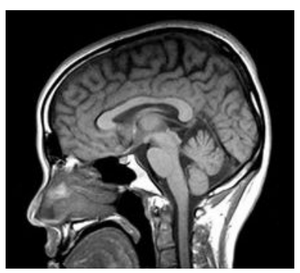
Badanie lekarskie metodą magnetycznego rezonansu jądrowego wykorzystuje znacznie bardziej skomplikowane zjawiska. Wśród atomów, z których jest zbudowane ciało pacjenta, znajduje się wiele atomów wodoru. Ich jądra (protony) zachowują się jak maleńkie magnesy i mogą zostać wprawione w rezonans za pomocą zmiennego pola magnetycznego. Ponieważ różne substancje w organizmie zawierają różne ilości wodoru, obraz NMR pozwala zobaczyć tkanki wewnątrz ciała, i to bez użycia promieniowania rentgenowskiego.



▲ Aby rozbujać huśtawkę, musimy popychać ją z odpowiednią częstotliwością. To także przypadek rezonansu



▲ Millennium Bridge, w powiększeniu jeden z amortyzatorów



▲ Obraz z badania metodą magnetycznego rezonansu jądrowego

Rezonans

Zjawisko rezonansu znalazło wiele zastosowań praktycznych. Bywają także sytuacje, gdy jest ono niepożądane lub wręcz niebezpieczne.

Praktyczne wykorzystanie rezonansu

Dzięki pudłom rezonansowym dźwięki wielu instrumentów muzycznych, np. gitary lub wiolonczeli, są głośniejsze.

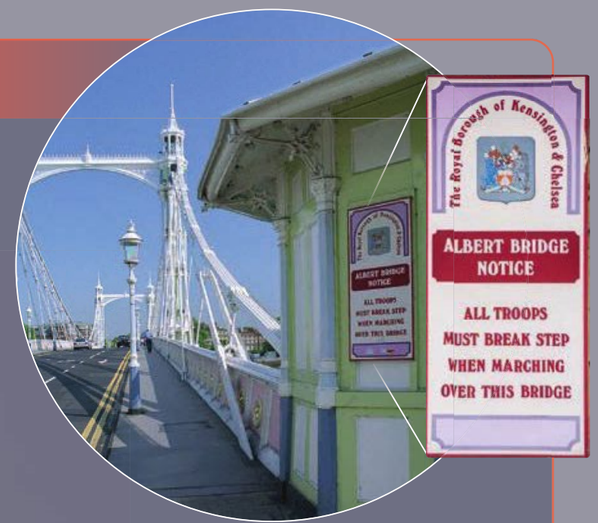




Za pomocą ultradźwięków o częstotliwości dopasowanej do częstotliwości drgań własnych kamieni nerkowych można rozbić te złogi i usunąć je z organizmu bez operacji.

Negatywne skutki rezonansu

Zdarzało się, że most runął w wyniku rezonansu wywołanego przez maszerujące wojsko. Dlatego żołnierze mają zakaz maszerowania po mostach w zgodnym rytmie.





Gdy pralka jest źle wypoziomowana, przy pewnej prędkości wirowania zaczyna mocno się trząść i „wędrować” po łazience. Podobnie inne konstrukcje, w których jest zamocowany silnik, mogą pod wpływem jego drgań wpadać w rezonans, a w skrajnych sytuacjach, gdy silnik zostanie źle zamocowany, urządzenie może ulec zniszczeniu.

To najważniejsze

- Gdy częstotliwość zmian siły zewnętrznej działającej na drgające ciało jest równa częstotliwości drgań własnych tego ciała, wtedy amplituda drgań szybko wzrasta. To zjawisko nazywamy **rezonansem**.
- Rezonans znalazł zastosowanie m.in. w medycynie i budowie instrumentów muzycznych. Może jednak być także niebezpieczny, jeśli maszyny lub konstrukcje budowlane wpadną w niekontrolowane drgania.

Pytania i zadania
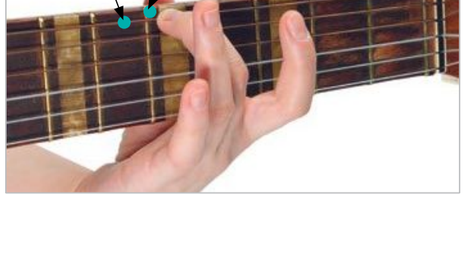
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Przepisz tekst do zeszytu. W miejsca oznaczone /// wpisz właściwe wyrażenia.
Rezonans zachodzi wtedy, gdy /// jest równa ///. Przykładem zastosowania tego zjawiska w medycynie jest /// za pomocą ///. Ich częstotliwość musi więc być równa ///.

2. Wiadomo, że żołnierze nie mogą iść przez most „w nogę”, aby konstrukcja nie zawaliła się na skutek rezonansu. Na tej podstawie oszacuj przeciętną częstotliwość drgań własnych mostu. Wybierz z ramki właściwą odpowiedź.

0,03 Hz – 0,3 Hz • 0,3 Hz – 3 Hz • 3 Hz – 30 Hz

3. Sitar to tradycyjny indyjski instrument muzyczny. Ma on kilka strun, na których można grać, oraz kilkanaście dodatkowych – które same wydają dźwięk, choć ich nie szarpiemy. Jak to możliwe?



4. Śpiewanie przez dłuższy czas dźwięku o odpowiednio dobranej częstotliwości może spowodować pęknięcie szkła, np. kieliszka. W jaki sposób dobrać wysokość dźwięku do danego naczynia bez użycia przyrządów? Postaraj się samodzielnie wymyślić odpowiedź (ale nie próbuj podobnych doświadczeń – są niebezpieczne!). Następnie obejrzyj film *How I broke a wine glass with my VOICE (using science!)* na kanale „Physics Girl” w serwisie YouTube.

Doświadczenie domowe

Struna gra sama?

1. Weź gitarę i przyciśnij strunę E6 (najgrubszą) na piątym progu. Sprawdź, czy wydaje ona taki sam dźwięk jak nieprzyciśnięta struna A5 (sąsiednia). Jeśli nie – gitarę trzeba nastroić.
2. Mocno szarpnij przyciśniętą strunę E6 i obserwuj, co się dzieje ze struną A5.
3. Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko.

16 Fale mechaniczne



Fala przemieszcza się na drugi koniec jeziora. Czy na jej grzbiecie można umieścić łódź i skorzystać z darmowego napędu?

Cele lekcji:
- Przypomnisz sobie wiadomości na temat fal mechanicznych i ich związku z drganiami.
- Zbadasz, czym ruch fali różni się od ruchu ośrodka.
- Przypomnisz sobie pojęcia długości, częstotliwości i amplitudy fali.

Ruch falowy

Słowo „fala” kojarzy się na ogół z falami na wodzie. Ale już ze szkoły podstawowej wiesz, że także dźwięk jest falą. Przypomnijmy, że fala mechaniczna polega na rozchodzeniu się drgań ośrodka (np. powietrza, powierzchni wody).

Fala mechaniczna to rozchodzące się drgania ośrodka.

Jak powstaje fala? Otóż:
- **źródłem fali** mechanicznej jest drgające ciało – wprawia ono w ruch drgający wodę, powietrze, czy też inny ośrodek, w którym ciało się znajduje,
- drgania ośrodka rozchodzą się na duże odległości,
- gdy fala dotrze do jakiegoś ciała (np. łódki unoszącej się na wodzie), wprawia je w ruch drgający.



▲ Schemat rozchodzenia się fali mechanicznej

Fala przenosi energię

Do wprawienia ośrodka w ruch jest potrzebna energia. Z kolei drgający ośrodek przekazuje energię ciału, które fala wprawia w ruch.
Innymi słowy, rozchodzenie się fali wiąże się z przenoszeniem energii od źródła fali do ciała wprawionego przez nią w ruch.
Energię fal morskich wykorzystujemy w praktyce, choć na razie na niewielką skalę. Największa elektrownia działająca na tej zasadzie znajduje się w zatoce Mutriku w Hiszpanii.



▲ W Mutriku wykorzystano falochron jako element elektrowni falowej

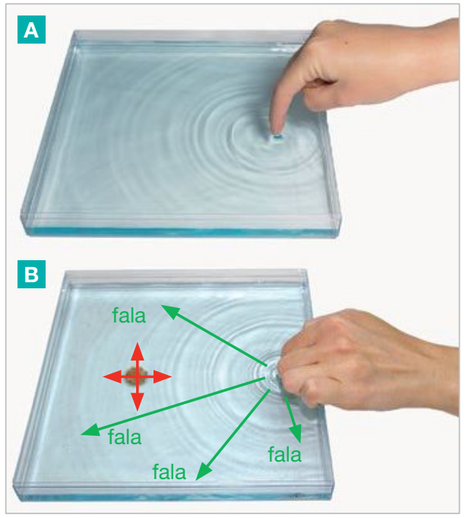
Ruch fali a ruch ośrodka

Proste doświadczenie pozwoli nam przypomnieć sobie różnicę między ruchem fali a ruchem ośrodka.

Doświadczenie 6.

Obserwacja fal na wodzie

1. Przygotuj: duże prostokątne naczynie o jasnym dnie, kawałek korka (albo inne lekkie ciało, które będzie unosić się na wodzie) oraz lampkę.
2. Nalej do naczynia trochę wody i połóż na jej powierzchni kawałek korka (albo inne lekkie ciało). Ustaw naczynie tak, aby dokładnie widzieć jego wnętrze (np. na niskim stoliku), a następnie oświetl je mocno od góry.
3. Uderzaj palcem w powierzchnię wody pośrodku naczynia. Obserwuj rozchodzące się fale oraz ruch korka. Porównaj ich ruch.



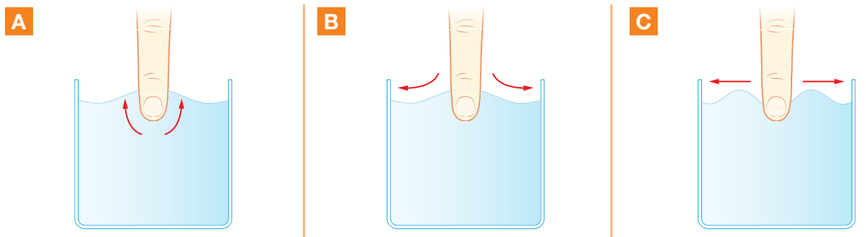
Widzimy, że po uderzeniu palcem w powierzchnię wody fale na niej rozchodzą się we wszystkich kierunkach od źródła, którym jest palec (rys. A). Natomiast korek porusza się ruchem drgającym: drga zarówno w górę i w dół, jak i do przodu i do tyłu w kierunku rozchodzenia się fal, ale nie podąża za falą (rys. B)
Oznacza to, że woda nie porusza się razem z falą – w przeciwnym razie pociągnęłaby za sobą korek. Podobne zjawisko możemy zaobserwować wtedy, gdy pływamy łódką po jeziorze. Fala unosi łódź, kołysze nią, ale nie przenosi jej na drugi koniec jeziora.

Fala może rozchodzić się na duże odległości, choć ośrodek nie przemieszcza się razem z nią.

Uwaga. Falowanie morza jest zjawiskiem dużo bardziej skomplikowanym i w pewnych sytuacjach, np. przy brzegu lub przy uskoku dna, fale mogą powodować powstawanie prądów, które znoszą pływających na pełne morze. To zjawisko bywa niebezpieczne nawet dla osób potrafiących dobrze pływać.

Jak rozchodzi się fala na wodzie

Rysunki przedstawiają kolejne etapy tworzenia się fali w doświadczeniu 6.



Gdy zanurzasz palec, usuwa on na boki trochę wody.

Ta górka wody rozpływa się na boki…

…i powoduje podniesienie powierzchni wody w sąsiednich miejscach.

Analogicznie, wyciągnięcie palca z wody powoduje obniżenie jej poziomu w najbliższej okolicy. Powstały dołek wypełnia woda z miejsc nieco dalszych.
W ten sposób drgania rozchodzą się po powierzchni wody w naczyniu.

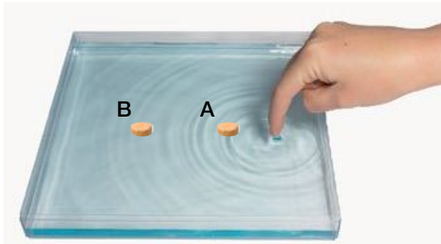
Częstotliwość, okres i amplituda fali

Znasz już kilka wielkości dotyczących drgań. Możemy je określić także dla fali.

Częstotliwością fali (f), okresem fali (T) i amplitudą fali (A) nazywamy odpowiednio częstotliwość, okres i amplitudę rozchodzących się drgań ośrodka.

Między tymi wielkościami jest jednak ważna różnica:
- okres drgań (a więc także ich częstotliwość) nie zmienia się podczas rozchodzenia się fali,
- amplituda drgań – zwykle maleje, gdy oddalamy się od źródła fal.

Jeżeli amplituda się zmienia, możemy o niej mówić tylko dla określonego punktu (patrz zdjęcie powyżej).



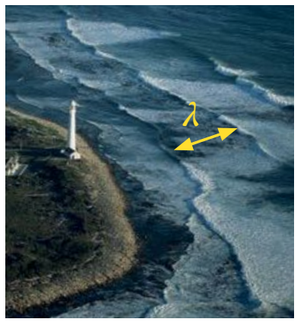
▲ Oba kawałki korka drgają z tą samą częstotliwością, ale amplituda drgań korka B jest mniejsza niż amplituda drgań korka A

Długość fali

Ostatnią omawianą przez nas ważną wielkością służącą do opisu fali jest jej długość.

Długość fali to odległość między dwoma kolejnymi jej grzbietami.

Długość fali oznaczamy literą λ (lambda). Mierzymy ją w takich samych jednostkach jak każdą inną długość: w metrach, centymetrach, kilometrach itd.



▲ Długość fali na wodzie

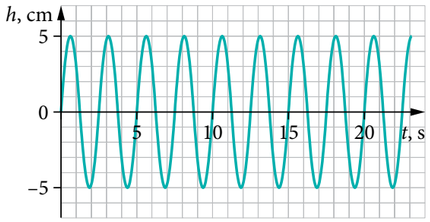
Przykład

Analiza wykresów opisujących fale

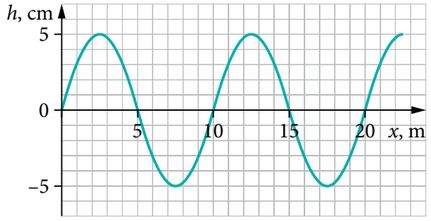
Dwa wykresy opisują tę samą falę na wodzie jeziora. Na wykresie A przedstawiono zależność wysokości wody w danym punkcie od czasu. Na wykresie B przedstawiono wygląd fali w pewnej chwili, czyli zależność wysokości wody od położenia w przestrzeni. Na obu wykresach wysokość wody mierzono względem jej średniego poziomu (dlatego h może być ujemna).

Na podstawie odpowiednich wykresów odczytaj częstotliwość, amplitudę i długość fali. Którą z tych wielkości można odczytać tylko z wykresu A, którą – tylko z wykresu B, a którą – z obu wykresów?

A



B



Rozwiązanie:

Choć wykresy wyglądają podobnie, to ich sens jest zupełnie inny.

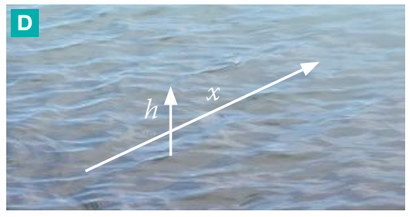
Wykres A przedstawia sytuację w tym samym miejscu, ale w różnych chwilach czasu. Taki wykres może przedstawiać np. drgania boi unoszącej się na wodzie (rys. C).

Wykres B przedstawia sytuację w tej samej chwili, ale w różnych miejscach. Taki wykres jest po prostu rysunkiem fali widzianej z boku (rys. D).

C

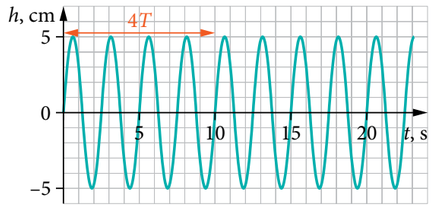


D



Wyznaczanie częstotliwości

Częstotliwość opisuje **zmiany w czasie**, a więc skorzystamy z wykresu A (zależność częstotliwości drgań od okresu – patrz s. 79). Możemy z niego odczytać, że 4 okresy drgań trwają razem 10 s, więc jeden okres to 2,5 s.

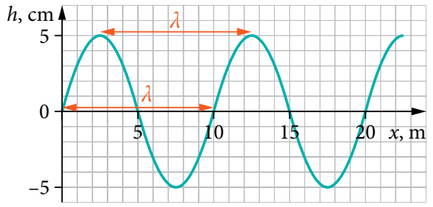


Częstotliwość wynosi zatem:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2{,}5\ \text{s}} = 0{,}4\ \text{Hz}$$

Wyznaczanie długości fali i jej amplitudy

Długość fali to odległość między grzbietami położonymi **w różnych miejscach** – dlatego skorzystamy z wykresu B. Tę wielkość możemy z niego odczytać bezpośrednio: $\lambda = 10$ m.



Amplitudę możemy odczytać z każdego z wykresów. Jest ona równa maksymalnej wartości h, czyli wynosi 5 cm.

Odpowiedź: Częstotliwość (wyznaczona z wykresu A) wynosi 0,4 Hz, długość fali (wyznaczona z wykresu B) wynosi 10 m, natomiast amplituda (którą można wyznaczyć z dowolnego wykresu) wynosi 5 cm.

To najważniejsze

- **Fala mechaniczna** to rozchodzące się drgania ośrodka.
- Fala może rozchodzić się na duże odległości, choć ośrodek nie przemieszcza się wraz z nią, a jedynie wykonuje drgania.
- Do opisu fal używamy następujących wielkości: długość λ, częstotliwość f, okres T, amplituda A.
- Wszystkie fale **przenoszą energię.**

Pytania i zadania — ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Do każdego początku zdania dobierz zakończenie z ramki. Zapisz w zeszycie całe utworzone zdania.

A. Fala rozchodzi się na dużą odległość, choć ośrodek porusza się…

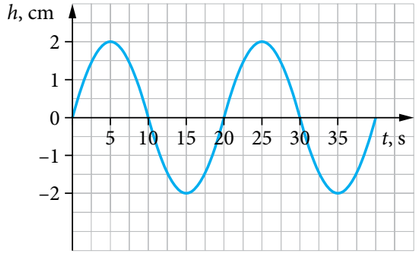
B. Fala przenosi…

C. Fala mechaniczna powstaje…

I. …na skutek ruchu drgającego jej źródła.
II. … tylko ruchem drgającym.
III. …energię ze swojego źródła do ciał, do których dociera.

2. Tratwa na falującej wodzie unosi się przez 4 s do najwyższego położenia, a następnie przez 4 s opada do najniższego. Oblicz okres i częstotliwość fali.

3. P Rysunek przedstawia wykres drgań wody w pewnym miejscu podczas rozchodzenia się fali. Które z wielkości można z niego odczytać lub obliczyć na jego podstawie: okres, częstotliwość, amplitudę, długość fali? Podaj je i wyjaśnij, dlaczego nie jest to możliwe w przypadku pozostałych.



17 Więcej o falach



Dlaczego grzbiety fal przy brzegu się łamią i tworzą pianę, a nawet tunel, wewnątrz którego może płynąć surfer?

Cele lekcji:

- Poznasz dwa rodzaje fal: poprzeczne i podłużne.
- Poznasz związek między prędkością, długością i częstotliwością fali.
- Dowiesz się, jak zachowuje się fala, gdy jej prędkość się zmienia.

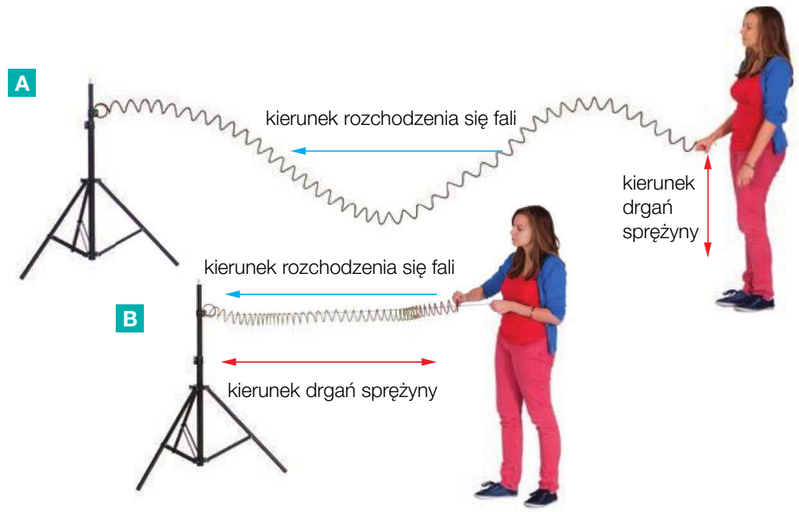
Fale poprzeczne i podłużne

W poprzedniej lekcji omówiliśmy rozchodzenie się fal i wielkości służące do ich opisu. Doświadczenia wykonywaliśmy dla fal na wodzie, które zwykle jako pierwsze kojarzą się ze słowem „fala".
Teraz wykonamy doświadczenie z falami rozchodzącymi się na metalowej albo plastikowej sprężynie zabawce. Pozwoli nam ono zaobserwować dwa rodzaje fal mechanicznych.

Doświadczenie 7.

Obserwacja fal poprzecznych i podłużnych

1. Przygotuj sprężynę zabawkę (*slinky*) oraz kawałek sznurka długości ok. 2 m.
2. Przymocuj jeden koniec sprężyny do nieruchomego przedmiotu. Drugim końcem poruszaj rytmicznie w górę i w dół (rys. A na następnej stronie). Obserwuj powstawanie fali, zwłaszcza na samym początku.
3. Przewlecz sznurek przez sprężynę, jeden jego koniec przywiąż do nieruchomego przedmiotu, a drugi trzymaj w dłoni tak, aby sznurek był napięty (rys. B).
4. Drugą dłonią chwyć wolny koniec sprężyny i naciągnij ją. Następnie poruszaj sprężyną rytmicznie od siebie i do siebie. Jak teraz wygląda fala powstała na sprężynie?



Analiza doświadczenia

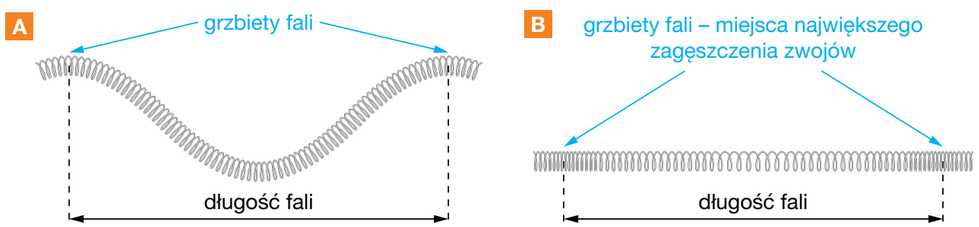
Gdy trzymasz sprężynę, wprawiasz w ruch tylko zwoje sprężyny znajdujące się najbliżej twojej dłoni. Jednak poruszające się zwoje sprężyny wprawiają w ruch sąsiednie zwoje, one – jeszcze dalsze i w ten sposób fala przenosi się wzdłuż sprężyny.
Zauważmy, że w pierwszej części doświadczenia (zdjęcie A) drgania są prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali, a w drugiej (zdjęcie B) – równoległe. Ta różnica pozwala nam wyróżnić dwa rodzaje fal:

W **fali poprzecznej** kierunek drgań jest prostopadły do kierunku rozchodzenia się fali (zdjęcie A), a w **fali podłużnej** – równoległy (zdjęcie B).

Oprócz tych rodzajów istnieją fale, w których drgania odbywają się jednocześnie i w kierunku poprzecznym, i w kierunku podłużnym do kierunku rozchodzenia się fali. Należą do nich fale na wodzie.

Grzbiety różnych rodzajów fal

Pojęcie grzbietu fali jest oczywiste dla fali na wodzie. Także w przypadku fali poprzecznej na sprężynie grzbietem możemy nazwać punkt znajdujący się w danej chwili najwyżej (rys. A). Natomiast w przypadku fali podłużnej umawiamy się, że grzbiet to miejsce maksymalnego zagęszczenia zwojów (rys. B).



▲ Grzbiety i długość fali poprzecznej A i podłużnej B na sprężynie

W następnych lekcjach zdefiniujemy odpowiedniki grzbietów fal dla światła i dźwięku. Gdy wiemy, gdzie fala ma grzbiety, możemy określić jej długość (patrz rys. powyżej).

Prędkość fali

Jak zaobserwowaliśmy w doświadczeniach, fale nie rozchodzą się natychmiast, ale potrzebują określonego czasu, aby pokonać pewną drogę. Dlatego możemy mówić o **prędkości fali**. Na ogół ta wielkość się nie zmienia, więc możemy obliczać ją tak samo jak w przypadku prędkości ciał w ruchu jednostajnym:

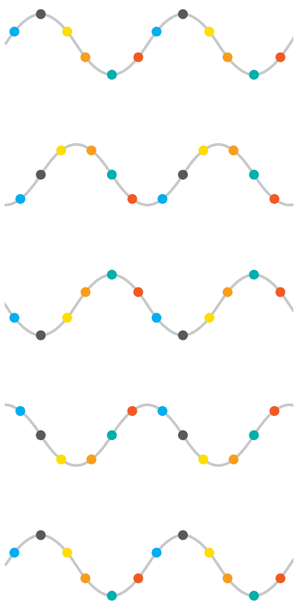
prędkość fali $v = \frac{s}{t}$ — s: przebyta przez nią droga; t: czas, w którym ta droga została przebyta

Zależność między długością, prędkością i częstotliwością

Rysunek obok diagramu przedstawia kolejne fazy rozchodzenia się fali na nitce z nanizanymi kolorowymi koralikami. Możemy analizować go na dwa sposoby.

Co się zmienia między pierwszą a ostatnią przedstawioną fazą ruchu?

- Patrzymy na przesuwanie się grzbietu fali (ignorujemy kolory koralików) → Grzbiet przesunął się na miejsce, w którym wcześniej był poprzedni grzbiet → Fala przebyła odległość równą swojej długości
- Patrzymy tylko na drugi (czarny) koralik. Pozostałe możesz zasłonić kawałkami papieru → Koralik wykonał pełen cykl drgań z góry na dół i z powrotem → Minął czas równy okresowi fali



▲ Rozchodzenie się fali na nitce z koralikami

Wynika stąd ważny wniosek:

W czasie równym swojemu okresowi T fala pokonuje odległość równą swojej długości λ.

Ale skoro w czasie T fala przebywa odległość równą λ, to znany ci wzór na prędkość $v = \frac{s}{t}$ przyjmuje postać:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Częściej jednak mówimy o częstotliwości fali niż o jej okresie, więc możemy przekształcić ten wzór tak, aby występowała w nim częstotliwość:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \frac{1}{T} = \lambda f$$

Sprawdzamy jednostki:
$[v] = \mathrm{m} \cdot \mathrm{Hz} = \mathrm{m} \cdot \frac{1}{\mathrm{s}} = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$

Otrzymaliśmy zależność:

prędkość $v = \lambda f$ — λ: długość; f: częstotliwość

Jeśli zapomnisz wzoru, możesz go wyprowadzić w przedstawiony wcześniej sposób.

Przykład

Obliczanie prędkości fali

Dziecko stoi w płytkim basenie i podskakuje co 1,2 s. Wytwarza w ten sposób falę o długości 2,24 m. Oblicz prędkość tej fali.



Dane:
$T = 1{,}2$ s – czas między kolejnymi uderzeniami w wodę
$\lambda = 2{,}24$ m – długość fali

Szukane:
$v = ?$ – prędkość fali

Rozwiązanie:

Kolejne grzbiety fali powstają wtedy, gdy dziecko zanurza się głębiej w wodę, więc okres fali wynosi $T = 1{,}2$ s.
Ponieważ w czasie równym T fala przebywa odległość równą λ, więc możemy napisać:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Po podstawieniu danych otrzymujemy:

$$v = \frac{2{,}24\ \mathrm{m}}{1{,}2\ \mathrm{s}} = 1{,}87\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

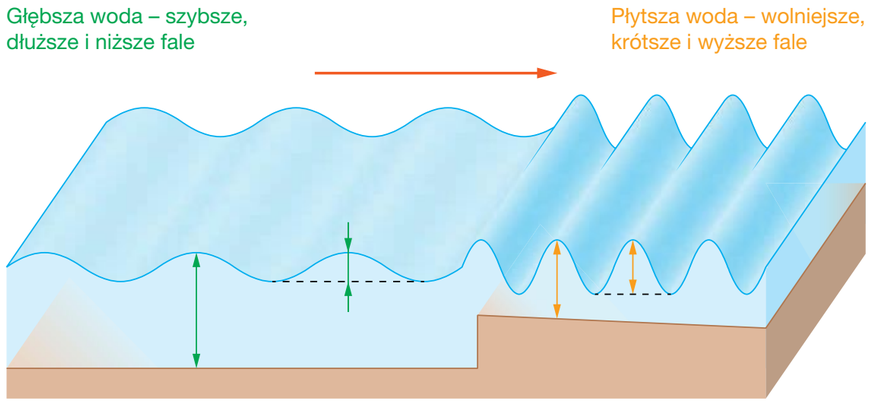
Odpowiedź: Fala przemieszcza się z prędkością 1,87 $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$.

Zmiana prędkości fali

Fala może przejść do ośrodka, w którym rozchodzi się z inną prędkością. Omówmy to dla trzech rodzajów fal.

Dźwięk	Światło	Fala na wodzie
Dźwięk może przejść z powietrza do wody (a w wodzie rozchodzi się szybciej). Gdy zanurzymy głowę w wodzie, słyszymy, co się dzieje poza nią	Światło może przejść z powietrza do wody (a w wodzie rozchodzi się wolniej). Gdy zanurzymy głowę w wodzie, światło nadal do nas dociera	Fala na morzu zbliża się do brzegu (na płytkiej wodzie rozchodzi się wolniej niż na głębokiej). Gdy stoimy na plaży, fala przesuwa się w naszą stronę
W takiej sytuacji **nie zmienia się częstotliwość fali**:		
wysokość dźwięku pozostaje taka sama	barwa światła pozostaje taka sama	boja zacumowana nad uskokiem dna drga z jedną częstotliwością, a nie dwiema naraz
wobec tego **zmienia się długość fali**		

Fala na wodzie porusza się wolniej wtedy, gdy woda jest płytka, niż wtedy, gdy jest głęboka (patrz rysunek). Kiedy więc fala morska zbliża się do brzegu, jej prędkość się zmniejsza.



▲ W czasie jednego okresu drgań fala na głębokiej wodzie przebywa dłuższą drogę niż na płytkiej

W tej sytuacji fala staje się krótsza i cała ilość wody rozłożona wcześniej na większej długości musi się zmieścić na mniejszej. Dochodzi do spiętrzania się wody. Właśnie z tego powodu grzbiety fal się łamią i powstaje piana zwana grzywą fali. W przypadku wielkich fal ten sam mechanizm pozwala uprawiać surfing.

To najważniejsze

- Gdy drgania ośrodka są prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali, falę nazywamy poprzeczną. Jeśli są równoległe – mówimy o fali podłużnej.
- W czasie trwania jednego okresu drgań fala przebywa drogę równą swojej długości.
- Wynika stąd zależność $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$.
- Gdy fala przechodzi do obszaru, w którym rozchodzi się z inną prędkością, zachowuje swoją częstotliwość, natomiast jej długość ulega zmianie.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Czy na wstążce do ćwiczeń gimnastycznych mogą się rozchodzić fale poprzeczne? A podłużne? Uzasadnij odpowiedzi.



2. P Na oceanie wiatr wytworzył falę, która co 10 s unosiła w górę i w dół tratwę ratunkową. Odległość między kolejnymi grzbietami fali wynosiła 160 m.

a) Oblicz prędkość fali.

b) Oblicz, w jakim czasie ta fala przebędzie 1 km.



3. Dźwięk rozchodzi się w powietrzu z prędkością 344 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz:

a) częstotliwość fali dźwiękowej o długości 1 m,

b) długość fali dźwiękowej o częstotliwości 1000 Hz.

4. Oblicz prędkość, z jaką rozchodziła się fala opisana w przykładzie na s. 100. Skorzystaj z odpowiedzi do tego przykładu.

5. Tsunami to fala powstająca na skutek trzęsienia ziemi. Na otwartym oceanie ma zaledwie 1 m wysokości, ale za to nawet 100 km długości. Gdy zbliża się do lądu, woda się spiętrza i fala osiąga nawet 30–40 m wysokości. Wyjaśnij, z czego wynika takie spiętrzenie wody.



18 Fale dźwiękowe



Wiatr o prędkości 34 $\frac{m}{s}$ to huragan. Tymczasem dźwięk rozchodzi się w powietrzu z prędkością 344 $\frac{m}{s}$. Dlaczego więc dźwięk nie przewraca nas na ziemię?

Cele lekcji:

- Przypomnisz sobie i uzupełnisz wiadomości na temat fal dźwiękowych.
- Dowiesz się, jak odbieramy dźwięki o różnych częstotliwościach i o różnych amplitudach.
- Nauczysz się badać doświadczalnie dźwięk i analizować wykres dźwięku.

Jak powstaje fala dźwiękowa

Źródłem fali dźwiękowej jest drgające ciało. Porusza ono powietrze i powoduje jego zgęszczenie lub rozrzedzenie (patrz ramka na następnej stronie). Te zgęszczenia i rozrzedzenia rozchodzą się następnie w powietrzu na duże odległości.

Fala dźwiękowa jest **falą podłużną,** polegającą na rozchodzeniu się zgęszczeń i rozrzedzeń ośrodka (np. powietrza).

Dźwięk a inne fale

Ponieważ dźwięk jest falą, ma właściwości, o których mówiliśmy już w poprzedniej lekcji dla wszystkich fal.

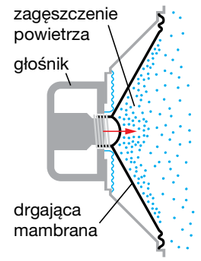
- Przyczyną powstawania dźwięku są drgania ciał – omówiliśmy to dokładniej w ramce na następnej stronie.
- Rozchodzenie się fali dźwiękowej nie jest tym samym co ruch powietrza. Zauważ, że dźwięk rozchodzi się także w ciałach stałych, np. w stalowej szynie, a przecież żaden kawałek szyny nie porusza się z jednego jej końca na drugi.

- Dźwięk powoduje drgania ciał, do których dociera. Słyszymy go właśnie dlatego, że wprawia w drgania błonę bębenkową ucha. Głośne dźwięki mogą spowodować zauważalne drgania np. szyb w oknach.

Jak powstaje dźwięk

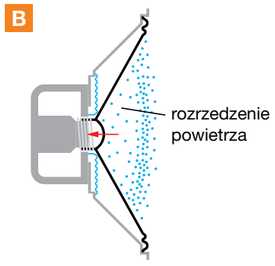
Przeanalizujmy powstawanie dźwięku na przykładzie membrany głośnika.

A



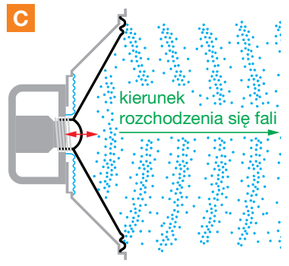
Gdy membrana porusza się na zewnątrz, popycha znajdujące się przed sobą powietrze i tworzy w ten sposób jego **zagęszczenie**. Zagęszczone powietrze się rozpręża, co powoduje, że nieco dalej powstaje kolejne zagęszczenie itd.

B



Gdy membrana porusza się do wewnątrz głośnika, powoduje **rozrzedzenie** powietrza, które zasysa powietrze z sąsiednich miejsc. Powietrze tam staje się rozrzedzone, co powoduje zasysanie powietrza z miejsc jeszcze dalszych itd.

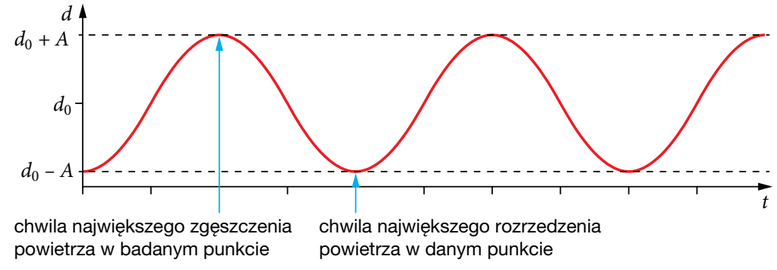
C



Gdy membrana drga, fala zagęszczeń i rozrzedzeń powietrza rozchodzi się na duże odległości.

Wykres dźwięku

Dźwięk można zilustrować na wykresie jako zależność zmiany gęstości powietrza w danym miejscu od czasu. Dla czystego tonu (czyli dźwięku o jednej określonej częstotliwości) taki wykres ma kształt sinusoidy (patrz rys. poniżej).
Dla ludzkiego głosu i instrumentów muzycznych wykresy dźwięku są skomplikowane. Nie będziemy się zajmowali ich rysowaniem, ale możemy je uzyskać doświadczalnie.



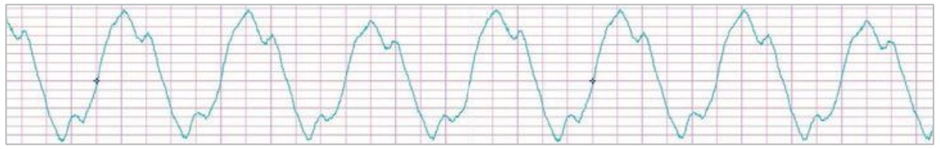
▲ Wykres zależności gęstości powietrza od czasu dla dźwięku docierającego do danego punktu; d_0 – średnia gęstość powietrza, A – amplituda zmian gęstości

Doświadczenie 8.

Badanie dźwięku

1. Przygotuj komputer.
2. Ściągnij z internetu bezpłatny program Oscilloscope 2.51 i go uruchom.
3. Zaśpiewaj do mikrofonu głoskę „a”. Zatrzymaj obraz i mu się przyjrzyj.
4. Sprawdź, czym się różnią obrazy dźwięku, gdy zmienia się jego wysokość, a czym – gdy zmienia się jego głośność.
5. Zaśpiewaj do mikrofonu głoskę „o”. Zatrzymaj obraz i porównaj go z obrazem dla głoski „a”.

Uwaga. Zamiast komputera możesz użyć telefonu komórkowego z aplikacją, np. Phyphox.

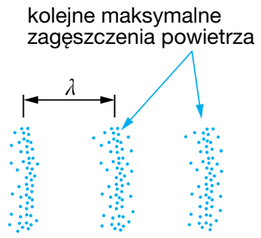


Zauważ, że choć kształt wykresów dla różnych samogłosek jest różny, to każdy z nich składa się z jednakowych, powtarzających się fragmentów.

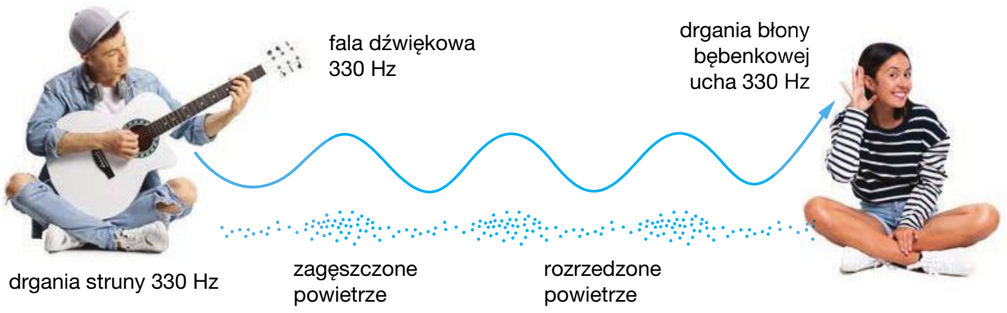
Długość, częstotliwość i amplituda fali dźwiękowej

Jak pamiętasz z poprzedniej lekcji, odległość między kolejnymi grzbietami fali na wodzie nazywamy długością tej fali. W przypadku dźwięku odpowiednikiem grzbietów są miejsca maksymalnego zagęszczenia powietrza (patrz rys. obok).

Natomiast częstotliwość dźwięku – podobnie jak każdej fali – jest równa częstotliwości rozchodzących się drgań (patrz rys. poniżej).



▲ Długość fali dźwiękowej

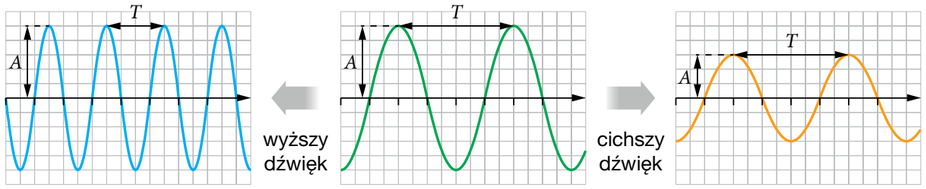


▲ Częstotliwość drgań źródła dźwięku, częstotliwość fali dźwiękowej i częstotliwość drgań błony bębenkowej ucha są równe

W doświadczeniu zaobserwowaliśmy, że:

Dźwięk wyższy to dźwięk o wyższej częstotliwości, a **dźwięk głośniejszy** to dźwięk o większej amplitudzie.

Dźwięk na wykresie



Krótszy okres T niż na zielonym wykresie, a więc wyższa częstotliwość i wyższy dźwięk.

Przykładowy dźwięk

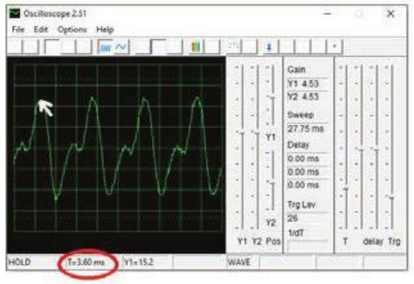
Mniejsza amplituda A niż na zielonym wykresie, a więc cichszy dźwięk.

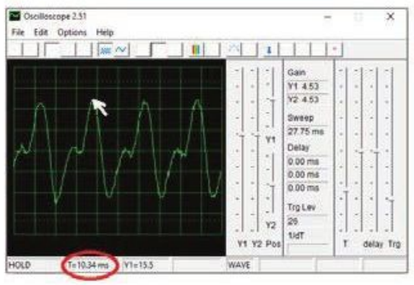
W ramce powyżej przedstawiamy, jak na podstawie wykresu porównać, który dźwięk jest wyższy albo głośniejszy, a w poniższym przykładzie – jak wyznaczyć jego częstotliwość.

Przykład

Wyznaczanie częstotliwości dźwięku z wykresu

Uczniowie badali dźwięk za pomocą programu Oscilloscope. Po zatrzymaniu obrazu ustawili kursor na pierwszy grzbiet wykresu i odczytali, że odpowiada on chwili $t_1 = 3{,}60$ ms. Drugi grzbiet wykresu odpowiadał chwili $t_2 = 10{,}34$ ms. Oblicz częstotliwość dźwięku.



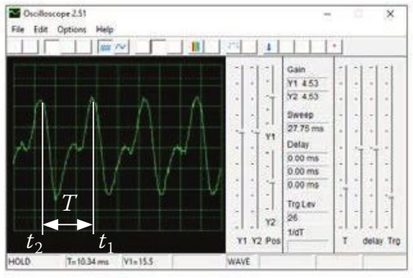


Rozwiązanie:

Jak widać na ilustracji obok, między chwilami t_1 a t_2 upłynął czas równy okresowi T drgań.

Tak więc:

$$T = t_2 - t_1 = 10{,}34\ \text{ms} - 3{,}60\ \text{ms} = 6{,}74\ \text{ms} = 0{,}00674\ \text{s}$$



Częstotliwość jest równa odwrotności okresu drgań:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}00674}\ \text{s} = 148{,}4\ \text{Hz} \approx 150\ \text{Hz}$$

Odpowiedź: Dźwięk miał częstotliwość ok. 150 Hz.

Ultradźwięki i infradźwięki

Nie wszystkie dźwięki są słyszalne dla człowieka – słyszymy tylko te, które należą do przedziału częstotliwości od 16 Hz do 20 kHz. Z wiekiem obniża się górna granica słyszalności. Dzieci i młodzież często słyszą dźwięki aż do 20 kHz, ale dorośli tylko do kilkunastu, a osoby starsze – nawet tylko do kilku kHz.

Nietoperz

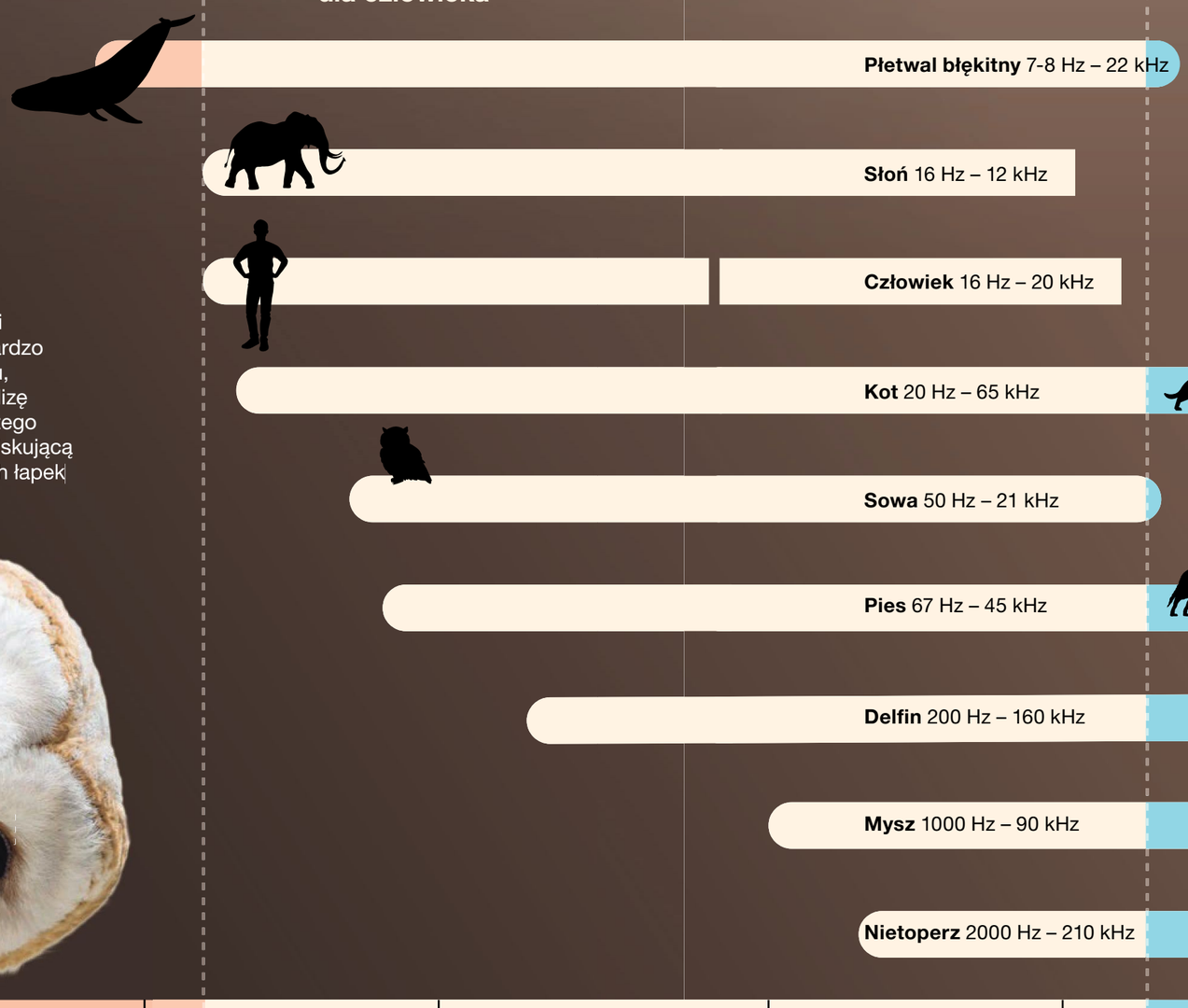
Nietoperze wydają i słyszą dźwięki w przedziale od 2 kHz do 210 kHz. Zwierzęta te nie tylko porozumiewają się ultradźwiękami, lecz także stosują je do echolokacji. Pozwala im to po ciemku rozróżniać obiekty będące w odległości 1 mm od siebie – omijać przeszkody i polować na owady.



Dźwięki zbyt niskie, aby mógł je słyszeć człowiek, czyli poniżej 16 Hz, to **infradźwięki**, a zbyt wysokie, czyli powyżej 20 kHz – **ultradźwięki**.

Pies

Wiele zwierząt słyszy dźwięki wyższe niż człowiek, na przykład psy – aż do 45 kHz. Dlatego do ich tresury wykorzystuje się czasem gwizdki ultradźwiękowe – słyszalne dla psa, ale nie dla człowieka.



Sowa

Sowy słyszą w przedziale częstotliwości zbliżonym do ludzkiego. Mają jednak bardzo skomplikowaną budowę narządu słuchu, a duża część mózgu odpowiada za analizę odbieranych bodźców słuchowych. Dlatego sowa płomykówka potrafi usłyszeć popiskującą mysz z odległości 60 m lub tupot mysich łapek pod 30-centymetrową warstwą śniegu!



Delfiny

Delfiny mają jeden z najlepszych zmysłów słuchu wśród wszystkich zwierząt. Komunikują się dźwiękami z przedziału od 200 Hz do 50 kHz, a wyższe częstotliwości, aż do 160 kHz, wykorzystują do echolokacji. Każdy delfin wydaje też własny, unikalny, krótki dźwięk z przedziału 7-15 kHz, który stanowi jego „imię” w stadzie.



Prędkość dźwięku

Prędkość dźwięku w powietrzu wynosi 344 $\frac{m}{s}$, czyli ok. 1200 $\frac{km}{h}$. Ściślej mówiąc, taka jest jej wartość w temperaturze 20°C, ponieważ prędkość dźwięku zależy od temperatury.

To duża prędkość, ale w wodzie i w innych cieczach dźwięk porusza się szybciej niż w powietrzu, a w ciałach stałych – jeszcze szybciej (patrz tabela obok). Wynika to z budowy cząsteczkowej substancji. Dźwięk rozchodzi się dzięki oddziaływaniu cząsteczek, więc im silniejsze są te oddziaływania i im mniejsze odległości między cząsteczkami, tym większa jest prędkość dźwięku.

Tabela. Prędkość dźwięku

Ośrodek	v, $\frac{m}{s}$	v, $\frac{km}{h}$
Powietrze (20°C)	344	1240
Powietrze (0°C)	332	1195
Powietrze (–20°C)	319	1148
Hel (20°C)	1015	3650
Woda (20°C)	1482	5340
Stal	6000	22 000
Diament	18 000	65 000

Częstotliwość i długość fali dźwiękowej

Dla fali dźwiękowej zachodzi ta sama zależność między prędkością v, częstotliwością f i długością fali λ co dla każdego rodzaju fal:

prędkość → $v = \lambda f$ ← długość fali, częstotliwość

czyli:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Ze wzoru wynika, że **wyższy dźwięk** (czyli dźwięk o wyższej częstotliwości) to **krótsza fala** dźwiękowa. Jednak ten wniosek obowiązuje dla stałej prędkości, czyli w ramach jednego ośrodka.

To najważniejsze

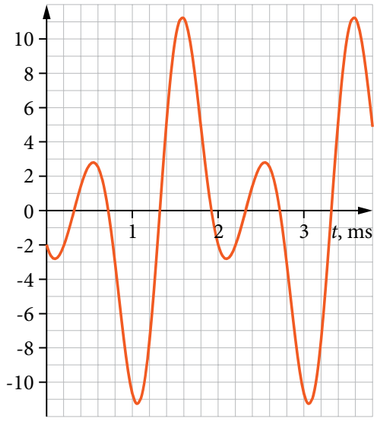
- Dźwięk jest falą podłużną, polega na rozchodzeniu się zgęszczeń i rozrzedzeń ośrodka.
- **Wysokości dźwięku** odpowiada jego **częstotliwość**, a **głośności** – **amplituda**.
- **Prędkość dźwięku** w powietrzu wynosi ok. 340 $\frac{m}{s}$. W cieczach jest zwykle większa niż w gazach, a w ciałach stałych jeszcze większa niż w cieczach.
- Niektóre zwierzęta słyszą dźwięki zbyt wysokie, aby słyszeli je ludzie (ultradźwięki) lub zbyt niskie dla ludzi (infradźwięki).

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Gdy chcemy obliczyć w przybliżeniu, w jakiej odległości od nas uderzył piorun, dzielimy czas (wyrażony w sekundach) między błyskawicą a grzmotem przez 3. Otrzymujemy wynik w kilometrach. Uzasadnij, że jest to dobry sposób szacowania odległości dzielącej nas od burzy.
2. Który z instrumentów wytwarza fale dźwiękowe o większej długości: skrzypce czy kontrabas?

3. P Na podstawie wykresu fali dźwiękowej oblicz jej częstotliwość.

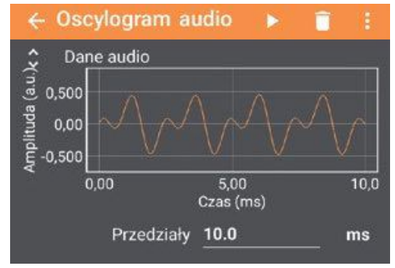


4. Na rysunkach przedstawiono wykresy dźwięku uzyskane za pomocą aplikacji Phyphox.
   a) Dwa z tych dźwięków miały zbliżoną wysokość. Które to są dźwięki? Czy trzeci dźwięk był od nich wyższy, czy niższy?
   b) Który dźwięk był głośniejszy: I czy II?

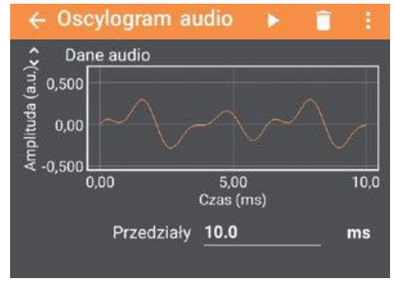
I.



II.



III.



Doświadczenie domowe

Badanie dźwięku instrumentów muzycznych

1. Przygotuj telefon z aplikacją Phyphox albo komputer z programem Oscilloscope.
2. Zbadaj, jak wyglądają wykresy dźwięku różnych instrumentów muzycznych, na których jest grana ta sama nuta. Możecie umówić się w klasie, aby różne osoby przygotowały i wydrukowały wykresy różnych instrumentów.
3. Porównajcie kształt wykresów. Który z nich jest najbardziej zbliżony do sinusoidy (patrz s. 109)?



19 Fale elektromagnetyczne



Światło jest falą. Ale co w niej faluje, skoro światło gwiazd dociera do nas przez biliony kilometrów próżni?

Cele lekcji:

- Poznasz naturę fal elektromagnetycznych.
- Poznasz zastosowania różnych rodzajów fal elektromagnetycznych.
- Poznasz naukowe znaczenie pojęcia *teoria* i dowiesz się, jak powstają teorie w fizyce.

Rodzaje fal elektromagnetycznych

Oprócz fal mechanicznych istnieją fale elektromagnetyczne, do których należy m.in. światło widzialne, nadfiolet, powodujący opalanie, czy mikrofale, służące nie tylko do podgrzewania posiłków, lecz także do przekazywania informacji przez telefon komórkowy.
Fale elektromagnetyczne o różnych częstotliwościach tworzą razem **widmo fal elektromagnetycznych**. Przypominamy je w infografice na s. 120–121.

Prędkość fal elektromagnetycznych

Prędkość fal elektromagnetycznych w próżni nie zależy od ich częstotliwości i zawsze wynosi $c \approx 300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}}$.

Nazywamy ją **prędkością światła**, ponieważ światło nie jest wyjątkiem i także porusza się z taką prędkością. Trzeba jednak pamiętać, że chodzi o **prędkość światła w próżni**. W innych ośrodkach fale elektromagnetyczne poruszają się wolniej, a ich prędkość zależy od częstotliwości.

Co już wiesz o związku elektryczności i magnetyzmu

Aby wyjaśnić, jaka jest natura fal elektromagnetycznych, przypomnijmy dwa doświadczenia z ubiegłego roku szkolnego.

Doświadczenia pokazujące związek elektryczności i magnetyzmu

elektryczność → magnetyzm



Gdy do igły magnetycznej zbliżamy przewód, w którym płynie prąd, igła się odchyla

magnetyzm → elektryczność



Gdy do zwojnicy zbliżamy magnes, w trakcie jego ruchu pomiędzy końcami zwojnicy pojawia się napięcie elektryczne

Wynika stąd, że:

prąd elektryczny wytwarza pole magnetyczne

zmienne pole magnetyczne powoduje powstawanie napięcia (i prądu, jeśli obwód jest zamknięty)

Prąd elektryczny zawsze powoduje powstawanie pola magnetycznego, ale jeśli jest to prąd stały (np. z baterii), to także pole magnetyczne jest stałe (czyli nie zmienia się w czasie). Stałe pole magnetyczne nie powoduje powstawania napięcia.
Jednak gdy prąd jest zmienny (tak jak w domowej sieci elektrycznej), wtedy również powstające pole magnetyczne jest zmienne, to znaczy raz mocniejsze, a raz słabsze. W tym przypadku mamy pełną symetrię: prąd zmienny powoduje powstawanie zmiennego pola magnetycznego, a zmienne pole magnetyczne powoduje powstawanie prądu zmiennego.
Urządzeniem wykorzystującym te zjawiska jest transformator:

- prąd zmienny zasilający transformator powoduje powstawanie zmiennego pola magnetycznego w jego rdzeniu,
- tak wytworzone zmienne pole magnetyczne powoduje powstawanie napięcia na wyjściu urządzenia.

Związek między polem elektrycznym i polem magnetycznym

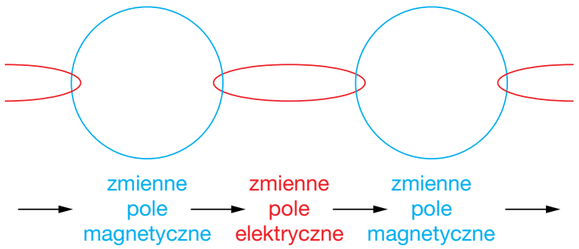
Okazuje się, że zjawiska podobne do omówionych powyżej mogą zachodzić bez przewodów z prądem.

- Nie tylko prąd zmienny, ale już samo zmienne pole elektryczne powoduje powstawanie zmiennego pola magnetycznego.
- I odwrotnie: zmienne pole magnetyczne powoduje powstawanie pola elektrycznego, nawet jeśli w pobliżu nie ma żadnego przewodnika.



Powstawanie fali elektromagnetycznej

W takim razie zmienne pole magnetyczne powoduje powstawanie zmiennego pola elektrycznego, ono z kolei powoduje powstawanie zmiennego pola magnetycznego i tak dalej.



Ten schemat dotyczy wszystkich fal elektromagnetycznych, np. mikrofal i światła.

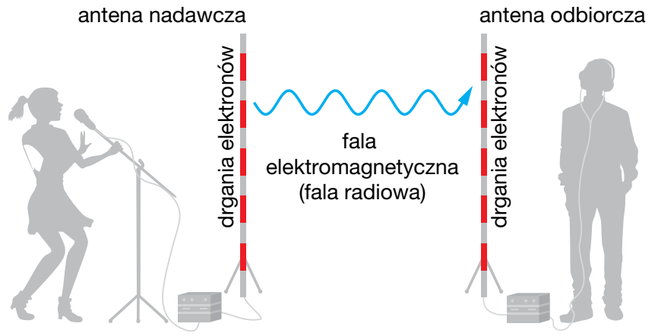
Schemat powstawania fali elektromagnetycznej

Gdy w przestrzeni rozchodzą się zmienne pole elektryczne i zmienne pole magnetyczne, mówimy, że rozchodzi się **fala elektromagnetyczna**.

W falach elektromagnetycznych drga nie ośrodek, ale pola – elektryczne i magnetyczne. To właśnie dlatego te fale mogą rozchodzić się nawet w próżni. Na tym polega zasadnicza różnica między falami elektromagnetycznymi a falami mechanicznymi (np. dźwiękiem). Poza nią jednak między tymi rodzajami fal jest wiele podobieństw, które wkrótce poznasz.

Nadawanie i odbiór fal radiowych

Drgania elektronów związane z przepływem prądu przemiennego wykorzystujemy także w łączności radiowej (chodzi nie tylko o audycje rozgłośni radiowych, lecz także np. telefonię komórkową). Kiedy w antenie nadawczej płynie prąd przemienny, znajdujące się w niej elektrony poruszają się ruchem drgającym. Ich drgania powodują powstawanie fali elektromagnetycznej.
Gdy taka fala dociera do anteny odbiorczej, wywołuje w niej uporządkowany ruch elektronów, czyli prąd elektryczny. Odbiornik radiowy albo telefon przekształca prąd w dźwięk.



Wytwarzanie i odbiór fal radiowych

To AŻ teoria!

Omawianie fal elektromagnetycznych to dobra okazja, aby wyjaśnić, że w fizyce i innych naukach przyrodniczych słowo „teoria" oznacza system wiedzy potwierdzony doświadczalnie. Nie chodzi więc o niesprawdzone przypuszczenie, o jakim w języku potocznym mówimy: „to tylko teoria".
Teorię fizyczną uznaje się za w pełni sprawdzoną dopiero wtedy, gdy wynikające z niej nowe, nieznane wcześniej zjawiska zostaną potwierdzone doświadczalnie.
W nauce należy więc raczej mówić: „to aż teoria".

Co to jest teoria i jak powstaje w przypadku fizyki

Przykład: **Teoria grawitacji Newtona**	**Etap badań**	Przykład: **Teoria elektromagnetyzmu Maxwella**
Przez setki lat uczeni badali spadanie ciał na Ziemi, a także obserwowali ruch planet na niebie	**1.** Zbieranie danych doświadczalnych	W XIX w. fizycy zbudowali baterie elektryczne i silniki oraz zbadali wiele zjawisk. Niezależnie od tego odkryli, że światło jest falą
Robert Hooke wpadł na pomysł, że spadek ciał na Ziemi i ruch planet można wyjaśnić tą samą przyczyną: siłą grawitacji	**2.** Genialny pomysł na jednolity opis wielu zjawisk	James Clerk Maxwell wpadł na pomysł, że wszystkie te zjawiska można opisać w jednolity sposób: za pomocą pojęcia pola – elektrycznego i magnetycznego
Izaak Newton rozwinął ten pomysł: odgadł kilka praw fizyki i wykazał matematycznie, że wynikają z nich wszystkie znane zjawiska	**3.** Stworzenie teorii	Stworzona przez niego teoria pozwala wyjaśnić zarówno elektryczność, jak i magnetyzm za pomocą kilku praw fizyki
Teoria Newtona pozwoliła przewidzieć istnienie nieznanej dotąd planety – Neptuna. Astronomowie zaobserwowali ją dokładnie tam, gdzie powinna się znajdować według wyliczeń	**4.** Przewidywanie nowych zjawisk i ich sprawdzenie	Z teorii Maxwella wynikał wniosek, że powinny istnieć fale elektromagnetyczne. Po kilku latach udało się to potwierdzić doświadczalnie

Widmo fal elektromagnetycznych

Wszystkie fale elektromagnetyczne maja taką samą naturę, choć różnią się długością i częstotliwością.

Od długości i częstotliwości zależą właściwości fal elektromagnetycznych oraz ich zastosowanie.



Telefony komórkowe używają częstotliwości ok. 1 GHz.



Także **światło widzialne** to fale elektromagnetyczne. Różnym częstotliwościom odpowiadają różne barwy.



Promieniowanie X (rentgenowskie) przenika przez tkanki miękkie, ale nie przez kości, dlatego wykorzystujemy je do prześwietleń.

10^{6} Hz (1 MHz) | 10^{9} Hz (1 GHz) | 10^{12} Hz | 10^{15} Hz | 10^{18} Hz | 10^{21} Hz — **Częstotliwość**

FALE RADIOWE: długie | średnie | krótkie | UKF | mikrofale

PODCZERWIEŃ

promieniowanie **NADFIOLETOWE**

promieniowanie **RENTGENOWSKIE**

promieniowanie **GAMMA**

Długość fali: 1 km | 1 m | 1 mm | 10^{-6} m (1 µm) | 10^{-9} m (1 nm) | 10^{-12} (1 pm)

Większość rozgłośni radiowych używa dziś **fal ultrakrótkich (UKF)**.



Promieniowanie cieplne większości otaczających nas ciał (włącznie z naszymi ciałami) należy do zakresu **podczerwieni**.



Promieniowanie ultrafioletowe (nadfioletowe) sprawia, że się opalamy, ale w dużych dawkach może powodować raka skóry. Jest też wykorzystywane m.in. do sprawdzania autentyczności banknotów. Niektóre zwierzęta widzą nadfiolet.



Bardzo przenikliwe **promieniowanie gamma** powstaje podczas przemian jądrowych. Powiemy o tym więcej w rozdziale 11.



To najważniejsze

- **Fala elektromagnetyczna** to rozchodzące się zaburzenia pola elektrycznego i magnetycznego.
- **Widmem fal elektromagnetycznych nazywamy** pełen zakres promieniowania elektromagnetycznego, który dzieli się na fale radiowe (do których należą mikrofale), podczerwień, światło widzialne, nadfiolet, promieniowanie rentgenowskie, promieniowanie gamma.
- **Teoria** w nauce to uporządkowany system wiedzy, sprawdzony w wielu doświadczeniach.
- **Teorię fizyczną** uważa się za potwierdzoną dopiero wtedy, gdy pozwoli ona przewidzieć istnienie nieznanych wcześniej zjawisk i potwierdzić je doświadczalnie.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Dobierz do poszczególnych zdań ich zakończenia.

A. Zmienne pole magnetyczne powoduje powstawanie…

B. Zmienne pole elektryczne powoduje powstawanie…

C. Fala elektromagnetyczna polega na rozchodzeniu się…

D. Światło i fale radiowe mają taką samą naturę, ale różnią się…

I. … częstotliwością.
II. … zmiennego pola magnetycznego.
III. … zmian pola elektrycznego i magnetycznego.
IV. … zmiennego pola elektrycznego.

2. Oblicz długość mikrofal wytwarzanych przez kuchenkę mikrofalową.

3. (i) Podaj nazwę zakresu promieniowana elektromagnetycznego, które:

a) widzimy gołym okiem,
b) jest wytwarzane przez gorące żelazko,
c) służy do połączenia między routerem wi-fi a komputerem,
d) służy do wykonywania prześwietleń zębów,
e) powoduje opalanie skóry,
f) powstaje w reakcjach jądrowych.

4. Zakresy promieniowania z zadania 3. uporządkuj według rosnącej częstotliwości.

Doświadczenie domowe

Oglądamy podczerwień

1. Przygotuj pilota do urządzeń RTV z diodą podczerwoną (jak na zdjęciu) oraz aparat cyfrowy (może być w telefonie komórkowym).

2. Włącz aparat i skieruj w niego pilota. Wciśnij przycisk na pilocie. Co widzisz na wyświetlaczu aparatu?

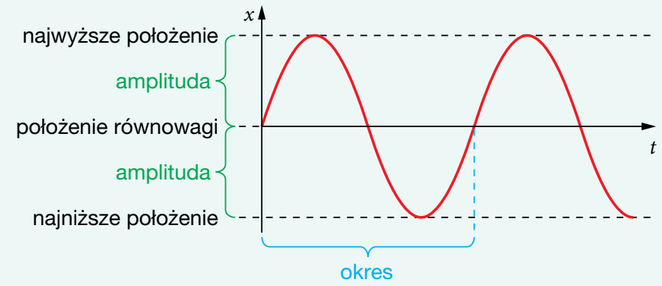
Skorzystaj z informacji z tabliczki znamionowej na takim urządzeniu w swoim domu albo na zdjęciu.



POWTÓRZENIE Drgania i fale

- Do opisu ruchu drgającego stosujemy następujące wielkości:
  - amplituda A to maksymalne wychylenie z położenia równowagi,
  - okres T to czas trwania pełnego cyklu drgań,
  - częstotliwość f to liczba okresów na jednostkę czasu, np. na sekundę:

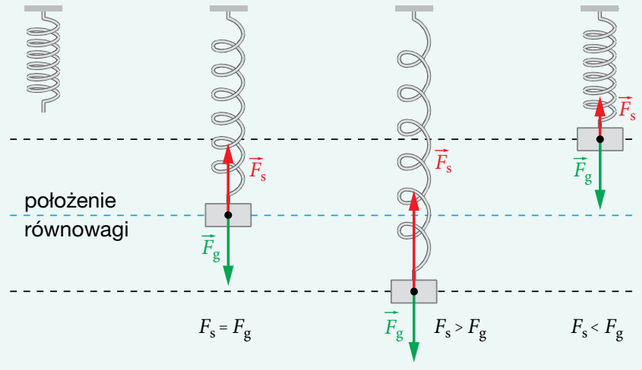
$$f = \frac{1}{T}$$



  - Amplitudę mierzymy w metrach, okres – w sekundach, a częstotliwość – w hercach (1 Hz = $\frac{1}{\text{s}}$).

- Przyrost długości sprężyny jest wprost proporcjonalny do działającej na nią siły.
  Tę zależność nazywamy **prawem Hooke'a.**
  - Prawo Hooke'a obowiązuje tylko do pewnego granicznego rozciągnięcia – potem sprężyna może się trwale odkształcić lub zerwać.

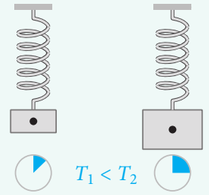
- Siły działające na ciężarek zawieszony na sprężynie: siła ciężkości $\vec{F}_g$ (nie zależy od położenia) oraz siła sprężystości sprężyny $\vec{F}_s$ (tym większa, im bardziej jest rozciągnięta sprężyna).
  - Wypadkowa tych sił jest zawsze zwrócona w stronę położenia równowagi.



▲ Siły działające na ciężarek na sprężynie: $\vec{F}_s$ – siła sprężystości, $\vec{F}_g$ – siła ciężkości

- W ruchu ciężarka zawieszonego na sprężynie **cyklicznym przemianom ulegają** następujące **formy energii:**
  - **energia kinetyczna** – tym większa, im szybciej porusza się ciężarek,
  - **energia potencjalna grawitacji** – tym większa, im wyżej znajduje się ciężarek,
  - **energia potencjalna sprężystości** – tym większa, im mocniej jest rozciągnięta sprężyna (czyli im niżej znajduje się ciężarek).

- Jeżeli dwa wahadła mają taką samą sprężynę, a różnią się masą ciężarka, to wahadło z ciężarkiem o większej masie ma dłuższy okres drgań (patrz rysunek).



- Gdy na ciało działa siła zewnętrzna zmieniająca się z częstotliwością równą częstotliwości drgań własnych ciała, wtedy amplituda drgań szybko rośnie. To zjawisko nazywamy **rezonansem**.

Znaczenie praktyczne rezonansu mechanicznego

Zastosowania	Skutki negatywne
Instrumenty muzyczne	Drgania maszyn i konstrukcji
Rozbijanie kamieni nerkowych	Zagrożenie dla budowli

- **Źródłem fali mechanicznej jest drgające ciało**. Taka fala może wprawić w ruch drgający inne ciało, do którego dotrze.



  - **Ośrodek nie porusza się razem z falą.** Gdy słyszymy dźwięk przez zamknięte okno, powietrze nie przenika przez szybę.

Fale

mechaniczne	elektromagnetyczne
Polegają na rozchodzeniu się drgań mechanicznych	Polegają na rozchodzeniu się zaburzeń pola elektrycznego i magnetycznego
Należy do nich dźwięk	Należy do nich światło

- **Wielkości opisujące falę**
  - Częstotliwością fali (f), okresem fali (T) i amplitudą fali (A) nazywamy odpowiednio częstotliwość, okres i amplitudę rozchodzących się drgań.
  - Częstotliwość fali świetlnej odpowiada jej barwie, a częstotliwość dźwięku – jego wysokości.
  - Długość fali (λ) to odległość między kolejnymi grzbietami fali.

- **Prędkość fali**
  - Zależność między prędkością rozchodzenia się fali v a długością fali, okresem i częstotliwością:

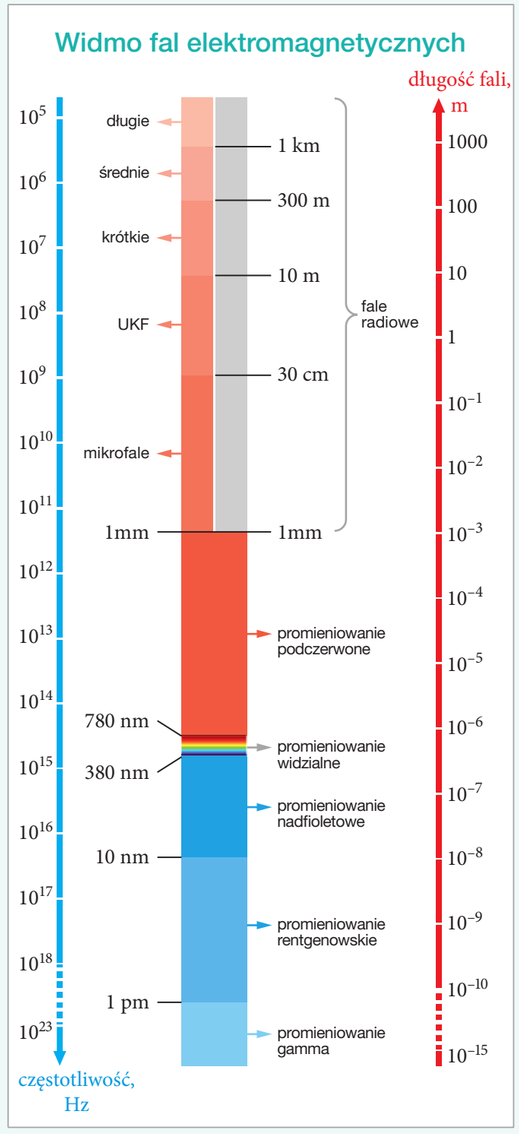
$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

  - Fale elektromagnetyczne rozchodzą się w próżni z prędkością:

$$c \approx 300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}} = 3 \cdot 10^8\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

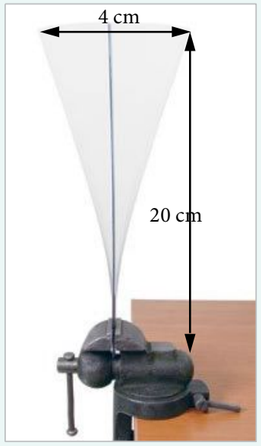
    W powietrzu fale elektromagnetyczne rozchodzą się tylko minimalnie wolniej niż w próżni. W innych ośrodkach rozchodzą się wolniej.
  - **Fale dźwiękowe** rozchodzą się w powietrzu z prędkością ok. $340\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$, w cieczach na ogół szybciej, a w ciałach stałych jeszcze szybciej. W próżni nie rozchodzą się wcale.
  - Gdy fala przechodzi do ośrodka, w którym rozchodzi się z inną prędkością, zmienia się jej długość, a częstotliwość pozostaje bez zmian.

- **Widmo fal elektromagnetycznych**
  - Fale elektromagnetyczne o różnych częstotliwościach tworzą razem widmo fal elektromagnetycznych (patrz rys. obok).



ZADANIA POWTÓRZENIOWE To musisz umieć

Informacja do zadań 1.–3.



Jeden koniec linijki zamocowano w imadle, a drugi koniec wychylono i puszczono. Linijka zaczęła drgać. W ciągu jednej sekundy poruszyła się 2 razy od jednego skrajnego wychylenia do drugiego i z powrotem.

1. Jaka jest amplituda drgań końca linijki?

A. 2 cm **C.** 4 cm
B. 10 cm **D.** 20 cm

2. Jaka jest częstotliwość drgań linijki?

A. $\frac{1}{4}$ Hz **C.** 2 Hz
B. $\frac{1}{2}$ Hz **D.** 4 Hz

3. Jaki jest okres drgań linijki?

A. $\frac{1}{4}$ s **C.** $\frac{1}{2}$ s
B. 2 s **D.** 4 s

4. Janek siedzi w domu i przez zamknięte okno słyszy hałas kosiarki do trawy. Jest to możliwe, ponieważ:

A. przez szybę przechodzi część powietrza poruszanego przez silnik kosiarki.

B. powietrze przepływa od kosiarki do szyby, a inna porcja powietrza przepływa od szyby do uszu Janka.

C. dźwięk polega nie na przepływie powietrza, tylko na rozchodzeniu się drgań.

5. Grzmot usłyszeliśmy 6 s po błyskawicy. W jakiej odległości od nas uderzył piorun?

A. ok. 0,5 km **C.** ok. 2 km
B. ok. 1 km **D.** ok. 6 km

6. Gdy słyszymy niski dźwięk, to znaczy, że docierająca do nas fala dźwiękowa ma:

A. niską częstotliwość.
B. wysoką częstotliwość.
C. małą amplitudę.
D. dużą amplitudę.

7. W próżni:

A. mogą się rozchodzić zarówno dźwięk, jak i światło.

B. może się rozchodzić dźwięk, ale nie światło.

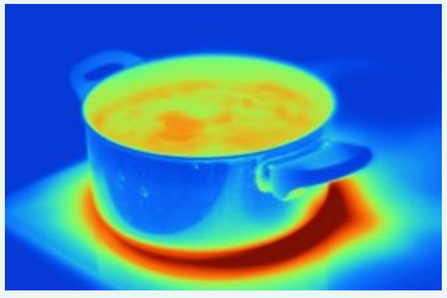
C. może się rozchodzić światło, ale nie dźwięk.

D. nie mogą się rozchodzić ani dźwięk, ani światło.

8. Dopasuj nazwy zakresów fal elektromagnetycznych A–D do przykładów ich emisji I–IV.

A. mikrofale **C.** ultrafiolet
B. podczerwień **D.** promieniowanie rentgenowskie

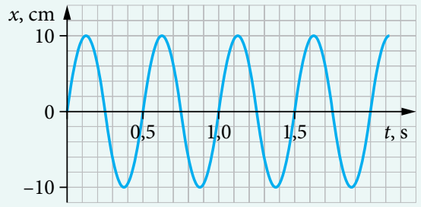
I. solarium **II.** telefonia komórkowa
III. prześwietlenie przy złamaniu kości
IV. promieniowanie rozgrzanego garnka



ZADANIA POWTÓRZENIOWE To należy umieć

Informacja do zadań 1. i 2.

Wykres przedstawia ruch wahadła sprężynowego. Oś x skierowana jest w górę.



1. Odczytaj z wykresu amplitudę i okres drgań tego wahadła, a następnie oblicz ich częstotliwość.

2. Odpowiedz na podstawie wykresu, czy w chwili $t = 0{,}2$ s:

a) ciężarek porusza się w górę czy w dół,

b) siła wypadkowa działająca na ciężarek jest skierowana w górę czy w dół,

c) prędkość ciężarka rośnie czy maleje.

3. Uzupełnij zdanie.

Gdy ciężarek na sprężynie znajduje się poniżej położenia równowagi, siła sprężystości jest **A**/ **B** od siły ciężkości, a ich wypadkowa jest skierowana **C**/ **D**.

A. większa
B. mniejsza
C. w górę
D. w dół

4. Zygmunt chce rozkołysać dzwon. Siły wystarcza mu jednak tylko na jego lekkie odchylenie, przy którym serce nie uderza jeszcze w płaszcz dzwonu. Opisz, w jaki sposób może osiągnąć swój cel. Z jakiego zjawiska fizycznego skorzysta?

5. Oceń prawdziwość zdań.

a) Niektóre zwierzęta słyszą dźwięki tak wysokie, że nie słyszą ich ludzie.

b) Powietrze wydychane przez mówiącego trafia do uszu słuchaczy.

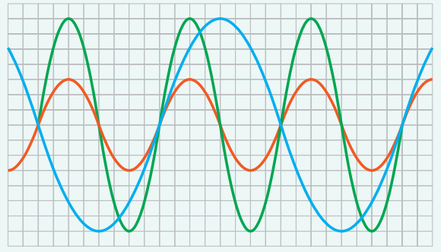
c) Ultradźwięki to dźwięki o zbyt niskiej częstotliwości, aby człowiek je usłyszał.

d) Dźwięk jest falą podłużną.

6. Porównaj wykresy dźwięków i odpowiedz na pytania.

a) Który z wykresów przedstawia wyższy dźwięk: niebieski czy czerwony?

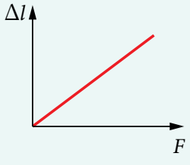
b) Który z wykresów przedstawia głośniejszy dźwięk: zielony czy czerwony?



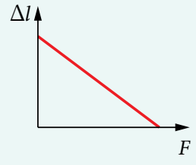
ZADANIA POWTÓRZENIOWE To warto umieć

1. Który z wykresów przedstawia zależność przyrostu długości sprężyny od przyłożonej siły zgodnie z prawem Hooke'a?

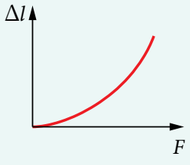
A.



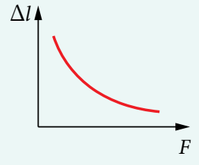
B.



C.



D.



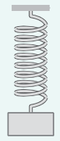
2. Ciężarek na sprężynie porusza się w górę i znajduje się poniżej położenia równowagi.

a) Opisz, jak wtedy zmieniają się (rosną czy maleją) energia potencjalna grawitacji, energia potencjalna sprężystości oraz energia kinetyczna.

b) Opisz przemiany energii zachodzące w tej sytuacji.

3. Wskaż, które z wahadeł ma większy okres. Uzasadnij odpowiedź.

A.



B.



4. Najniższy dźwięk kontrabasu ma częstotliwość 40 Hz. Oblicz długość fali dźwiękowej o takiej częstotliwości rozchodzącej się w powietrzu.



5. Fale radiowe wykorzystywane w telefonii 5G mają częstotliwość do 39 GHz. Oblicz długość takiej fali.

6. Gdy dźwięk przechodzi z powietrza do wody:

A. jego częstotliwość i długość fali się zmieniają.

B. jego częstotliwość i długość fali pozostają bez zmian.

C. jego częstotliwość się zmienia, a długość fali pozostaje bez zmian.

D. jego częstotliwość pozostaje bez zmian, a długość fali się zmienia.

7. Dłuższa fala dźwiękowa w powietrzu to inaczej:

A. cichszy dźwięk.

B. głośniejszy dźwięk.

C. wyższy dźwięk.

D. niższy dźwięk.

8. Oceń prawdziwość zdań:

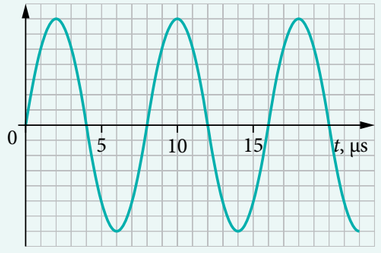
a) Osoby starsze słyszą dźwięki wyższe niż młodzież.

b) Słonie słyszą dźwięki niższe niż ludzie.

c) Psy słyszą dźwięki wyższe niż ludzie.



9. Oblicz częstotliwość dźwięku, którego wykres przedstawiono na ilustracji. Czy jest on słyszalny dla człowieka?



ZADANIA POWTÓRZENIOWE — Dasz sobie z tym radę? – Świetnie

1. Wahadło matematyczne to niewielkie ciało zawieszone na długiej, lekkiej, nierozciągliwej nitce.

Zależność między długością l wahadła matematycznego a jego okresem T przedstawia się wzorem:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

gdzie g jest przyspieszeniem ziemskim.

a) Oblicz okres wahadła o długości 28 m znajdującego się w muzeum Kopernika we Fromborku.

b) Oblicz długość wahadła, którego okres wynosi 3 s.

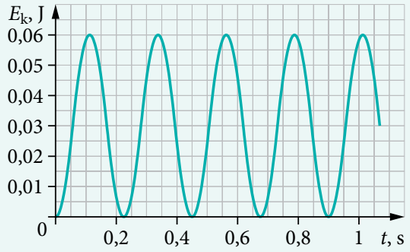
c) Na Księżycu przyciąganie grawitacyjne jest 6 razy słabsze niż na Ziemi. Jak długie powinno być wahadło, aby miało okres wahań taki sam jak dwumetrowe wahadło na Ziemi?

d) Opisz, jak można za pomocą wahadła matematycznego wyznaczyć przyspieszenie ziemskie.

2. Ciężarek o masie 100 g wykonuje drgania na sprężynie. Wykres przedstawia zależność energii kinetycznej ciężarka od czasu. Na podstawie wykresu oblicz:

a) okres drgań ciężarka,

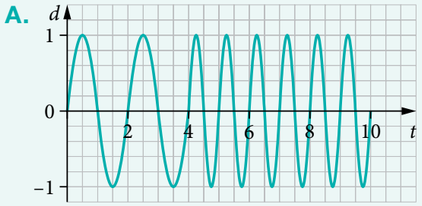
b) prędkość ciężarka w chwili przechodzenia przez położenie równowagi.



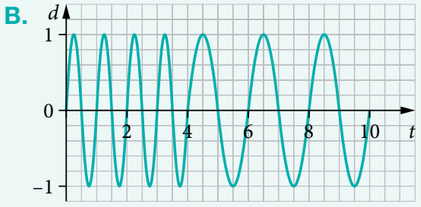
3. Oblicz częstotliwość promieniowania gamma o długości fali 4 pm.

4. Wykresy A–C to zwykłe wykresy dźwięku, przedstawiające zmiany gęstości powietrza w czasie. Natomiast wykresy I–IV przedstawiają zmiany częstotliwości dźwięku. Do każdego z wykresów A–C dopasuj jeden z wykresów I–IV (jeden zostanie bez pary).

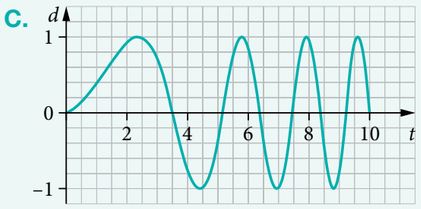
A.



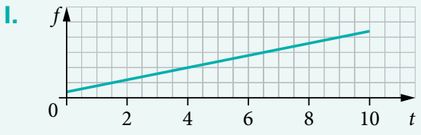
B.



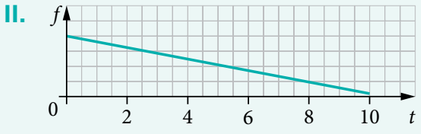
C.



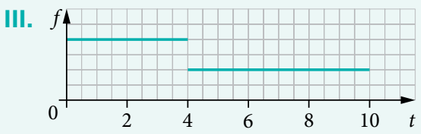
I.



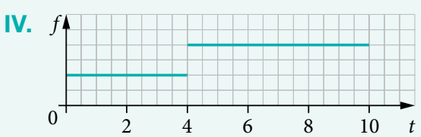
II.



III.



IV.



Projekt Barwa dźwięku

Cele projektu:

- Dowiesz się, jak barwa dźwięku zależy od fizycznych parametrów dźwięku
- Poznasz zasadę działania niektórych instrumentów muzycznych

Wprowadzenie:

Fale dźwiękowe wytwarzane przez instrumenty nie mają postaci sinusoidy, a różnej barwie tonu odpowiada różny kształt wykresu. Jednak każdy dźwięk można rozłożyć na sumę prostych tonów, czyli dźwięków, których wykresem jest sinusoida. Od proporcji głośności tych tonów zależy barwa dźwięku.

Doświadczenie

1. Włącz program Oscilloscope 2.51, zagraj dowolny dźwięk na dowolnym instrumencie (możesz też gwizdać na probówce – rys. A) i zatrzymaj obraz.
2. Włącz tryb analizy widma dźwięku (rys. B). Służący do tego przycisk oznaczono tęczą.

A



B



3. W tym trybie na osi poziomej zaznaczono częstotliwość (aby ją odczytać, wskaż kursorem miejsce na ekranie), a na osi pionowej – głośność dźwięku o tej częstotliwości.
4. Odczytaj z wykresu, z jakich częstotliwości składa się dźwięk. Porównaj te częstotliwości, czyli oblicz, ile razy kolejne są większe od najmniejszej z nich. Co zauważasz?
5. Porównaj widmo dla dźwięków o różnych częstotliwościach oraz widmo różnych instrumentów muzycznych. Jakie są między nimi podobieństwa, a jakie różnice?

Dalsze zadania do wyboru:

- Zastanów się, dlaczego klawisz trybu analizy widma oznaczono właśnie rysunkiem tęczy.
- Obserwuj zmiany widma dźwięku w czasie jego brzmienia (nie zatrzymuj obrazu). Czy kiedy dźwięk cichnie, głośność we wszystkich częstotliwościach zmniejsza się proporcjonalnie?
- Znajdź informacje o widmie dźwięków różnych instrumentów. Porównaj je z wynikami własnych doświadczeń.
- Dowiedz się, jak na podstawie częstotliwości dźwięku granego na probówce (rys. A) można wyznaczyć prędkość dźwięku. Przeprowadź takie obliczenia i porównaj swój wynik z podanym w podręczniku.
- Dowiedz się, jak powstają jednocześnie dźwięki o różnej częstotliwości w instrumentach strunowych, a jak w dętych.

9. Zjawiska falowe

Bańki mydlane powstają z szarej cieczy. Dlaczego więc mienią się kolorami?



20 Powierzchnie falowe. Odbicie fali



Świadkowie widzą podejrzanego, ale sami pozostają dla niego niewidoczni. Jak działa lustro weneckie?

Cele lekcji:

- Nauczysz się opisywać fale za pomocą powierzchni falowych i promieni fal.
- Poznasz kilka rodzajów fal: płaskie, koliste i kuliste.
- Przypomnisz sobie prawo odbicia.

Koliste i płaskie fale na wodzie

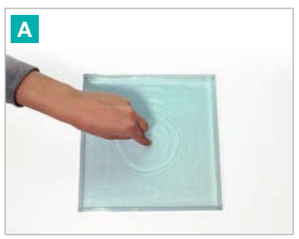
Grzbiety fal mogą się układać w różne kształty. Dwa najbardziej charakterystyczne z nich zbadamy doświadczalnie w przypadku fal na wodzie.

Doświadczenie 9.

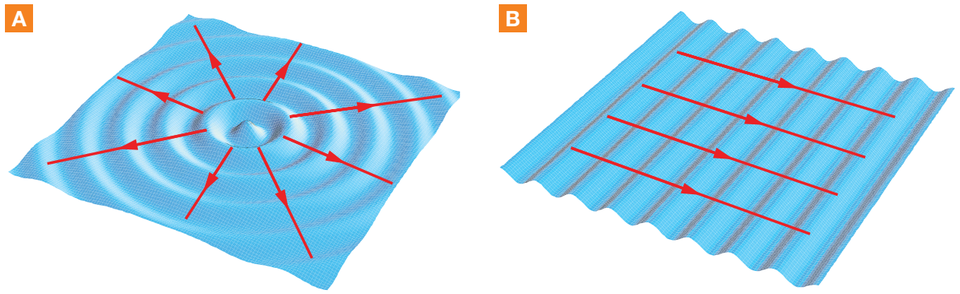
Obserwacja fal kolistych i płaskich

1. Przygotuj duże prostokątne naczynie o jasnym dnie, długą linijkę i lampkę.
2. Nalej do naczynia trochę wody.
3. Ustaw naczynie tak, aby dokładnie widzieć jego wnętrze (np. na niskim stoliku), a następnie oświetl je mocno od góry.
4. Uderzaj palcem w powierzchnię wody pośrodku naczynia. Obserwuj rozchodzące się fale (zdjęcie A).
5. Uderzaj linijką albo deseczką w powierzchnię wody (zdjęcie B) w pobliżu brzegu naczynia. Obserwuj fale rozchodzące się zarówno przed odbiciem od brzegów naczynia, jak i po odbiciu.

   Naszkicuj w zeszycie, jak rozchodzą się fale w obu przypadkach.







▲ Fale koliste A i płaskie B na wodzie. Czerwone linie to promienie fali

Gdy obserwujemy fale na wodzie, możemy zauważyć, że ich grzbiety i doliny układają się w linie. Na rysunku A powyżej tworzą okręgi, a na rysunku B – odcinki linii prostej. W pierwszym przypadku mówimy o **fali kolistej**, w drugim – o **fali płaskiej**. Zauważ, że na rysunku fale przedstawiono wraz z ich promieniami.

> **Promień fali** to linia prostopadła do grzbietów i dolin fali, wskazująca kierunek jej rozchodzenia się.

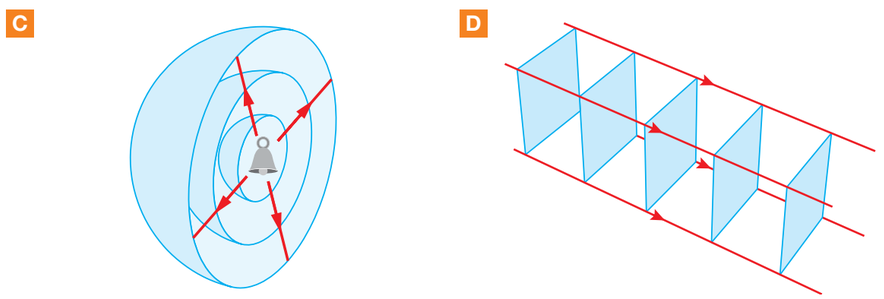
Na pewno znasz pojęcie *promień światła,* oznaczające wąską, równoległą wiązkę światła. W fizyce tym terminem nazywa się również linię pokazującą kierunek rozchodzenia się światła. W tym znaczeniu można mówić także o promieniach innych fal, np. promień fali dźwiękowej to linia pokazująca, jak rozchodzi się dźwięk.

Powierzchnie falowe fali dźwiękowej

Przejdźmy teraz do fal rozchodzących się w przestrzeni trójwymiarowej, a nie na płaskiej powierzchni wody. Zacznijmy od dźwięku.
Jak już wiesz, w przypadku fal dźwiękowych odpowiednikiem grzbietu fali jest miejsce, gdzie powietrze jest maksymalnie zagęszczone. Takie grzbiety układają się w powierzchnie zwane **powierzchniami falowymi.**

> Jeśli powierzchnia falowa ma kształt sfery (powierzchni kuli), to falę nazywamy **kulistą**. Jeśli natomiast jest fragmentem płaszczyzny, to falę nazywamy **płaską**.

Tak więc fala kulista to trójwymiarowy odpowiednik fali kolistej (patrz rys. A).



▲ Promienie i powierzchnie falowe fali dźwiękowej: kulistej C, płaskiej D

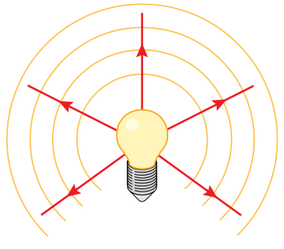
Oba te pojęcia opisują sytuację wyidealizowaną, jednak służą do opisu rzeczywistych fal.

- Gdy źródło emituje falę dźwiękową mniej więcej równomiernie we wszystkie strony, w przybliżeniu mamy do czynienia z **falą kulistą**.
- Gdy obserwujemy falę docierającą do niewielkiego obszaru z dala od źródła, jest ona w przybliżeniu **płaska**.

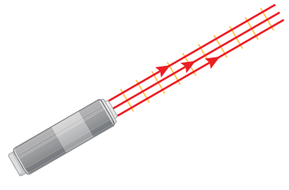
Światło – fala kulista czy płaska?

Również w przypadku dowolnej fali elektromagnetycznej, w tym światła, można mówić o grzbietach fali, czyli o miejscach, gdzie w danym momencie pole elektryczne jest najsilniejsze. Takie grzbiety układają się w powierzchnie falowe (patrz rys. A i B).

A



B



▲ Nieosłonięta żarówka wytwarza w przybliżeniu kulistą falę świetlną A, natomiast laser – falę płaską B

Powierzchnie falowe na rysunkach

Powierzchnie falowe rysuje się nie tylko w podręcznikach do fizyki. Na różnego typu ilustracjach właśnie w ten sposób zaznacza się, że ktoś mówi albo że nadajnik emituje fale radiowe.

Fale dźwiękowe



Fale radiowe

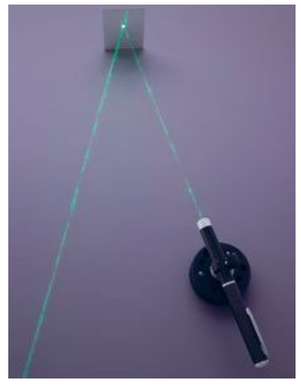


Często jednak są to rysunki poglądowe, które nie są ściśle zgodne z fizyką – tak jak rysunek fal radiowych zamieszczony wyżej (patrz „A to ciekawe” na następnej stronie).

Odbicie fali

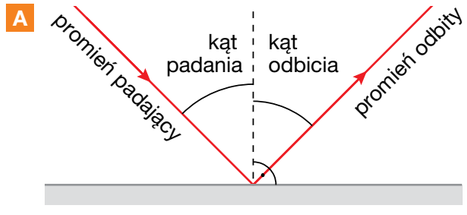
Pojęcia powierzchni falowych i promienia fali posłużą nam do opisu kilku zjawisk, które zachodzą dla wszystkich fal, niezależnie od ich natury. Zajmiemy się nimi w kilku najbliższych lekcjach.

Pierwsze z tych zjawisk to **odbicie** fali. Dla fal na wodzie mogliśmy je obserwować na początku lekcji.
Ze szkoły podstawowej pamiętasz być może także, jak odbija się światło od zwierciadła (patrz zdjęcie).
Choć fale na wodzie i światło mają zupełnie inną naturę fizyczną, w obu doświadczeniach bieg promieni fal był podobny. Aby móc go dokładniej opisać, wprowadzimy dwa pojęcia: kąt padania i kąt odbicia (rys. A i B). Zwróć uwagę, że oba te kąty mierzy się względem prostej prostopadłej do powierzchni odbijającej, a nie względem samej powierzchni, co zapewne wielu osobom wydawałoby się bardziej naturalne.

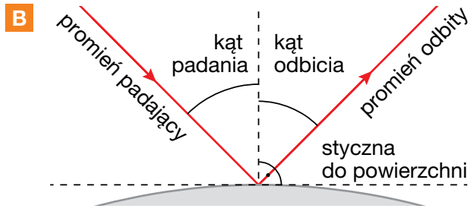


▲ Odbicie promienia światła od zwierciadła

A



B



▲ Kąt padania i kąt odbicia od płaszczyzny A i od zakrzywionej powierzchni B

Teraz możemy sformułować **prawo odbicia**:

> Kąt odbicia jest równy kątowi padania. Oba te kąty leżą w jednej płaszczyźnie.

To prawo znasz już ze szkoły podstawowej z lekcji o świetle, ale dotyczy ono wszystkich rodzajów fal. Przykładowo o odbiciu fal dźwiękowych przekonujemy się wtedy, gdy słyszymy echo, czyli gdy dociera do nas fala dźwiękowa odbita od przeszkody, np. od wysokich budynków, skał, ściany lasu.
Niektóre zwierzęta, takie jak nietoperze czy delfiny, wykorzystują odbicie fal dźwiękowych do orientacji w przestrzeni. Zwykle posługują się przy tym ultradźwiękami.

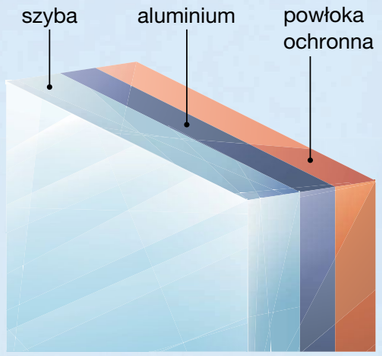
A to ciekawe

W latach 1974–1991 maszt w Konstantynowie niedaleko Płocka, nadający Program Pierwszy Polskiego Radia, był najwyższą budowlą na świecie. Ponieważ antena działa najlepiej wtedy, gdy jej długość jest równa połowie długości fali, a rozgłośnia nadawała audycje na falach długich, więc postawiono maszt o wysokości 646 m.
Dlaczego jednak nie ułożono po prostu przewodu o takiej długości poziomo na ziemi? Otóż antena radiowa nie emituje fali kulistej. W miejscach położonych na jej przedłużeniu sygnał jest bardzo słaby, najlepiej zatem, aby te jej końce były skierowane w głąb ziemi i w niebo.



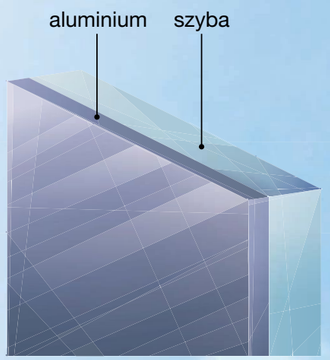
Lustro weneckie

Lustra weneckie to rodzaj zwierciadeł, przez które osoba znajdująca się po jednej stronie może patrzeć jak przez szybę, a osoba po drugiej stronie widzi tylko odbicie.



Zwykłe lustro

to szyba pokryta substancją odbijającą światło, np. aluminium, i zabezpieczona powłoką ochronną.

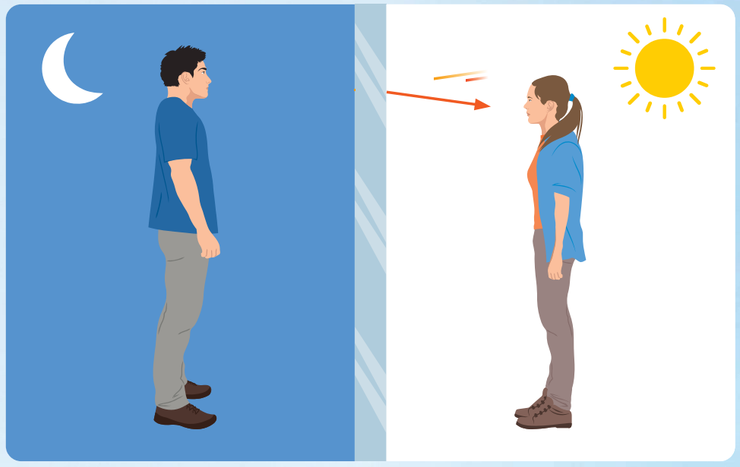


Lustro weneckie

nie ma powłoki ochronnej, a warstwa aluminium jest bardzo cienka i tylko część światła odbija się od niej. Pozostała jego część przedostaje się na drugą stronę.

Jak to działa

Z powyższego opisu wynika, że lustro weneckie działa tak samo w obydwie strony. Dlaczego więc z jednej strony możemy patrzeć przez lustro, a z drugiej widzimy tylko odbicie? Ważna jest tutaj różnica w oświetleniu po jednej i po drugiej stronie lustra. Z tej strony, gdzie jest jaśniej, zobaczymy swoje odbicie, z drugiej – będziemy widzieć przez lustro (strzałki na rysunku poniżej przedstawiają bieg światła).



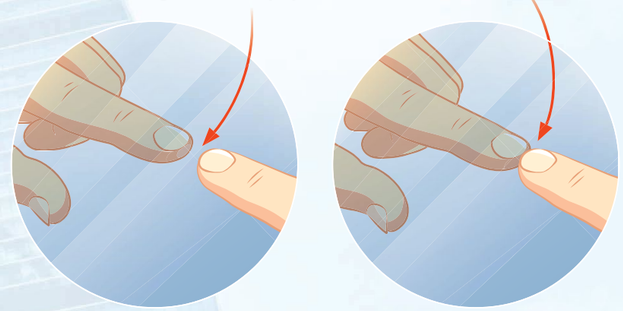
Czy można rozpoznać, na jakie lustro patrzymy: zwykłe czy weneckie?

Zazwyczaj tak. W zwykłych lustrach aluminium napyla się na tylną stronę szyby. Szyba chroni powierzchnię aluminium przed uszkodzeniem.

W lustrach weneckich często dla wzmocnienia różnicy w ilości światła padającego z obu stron na warstwę aluminium stosuje się szybę przyciemnianą. Dlatego metal musi być na nią nałożony po tej stronie, po której chcemy uzyskać efekt odbicia. Inaczej przyciemniona szyba byłaby widoczna, a samo odbicie – znacznie ciemniejsze. Dlatego jeśli przyłożymy coś do powierzchni:

zwykłego lustra – między obiektem i jego odbiciem będzie niewielki odstęp, wynikający z grubości szyby,

lustra weneckiego – przedmiot i jego odbicie będą się stykać.



Przykłady luster weneckich

Lustra weneckie możemy kojarzyć z policyjnych pokojów przesłuchań znanych z filmów, ale nie tylko. Znajdują też zastosowanie w budynkach biurowych i w domach, gdzie pomagają zredukować ilość słońca wpadającego do środka, a zarazem uniemożliwiają osobom na zewnątrz zaglądanie do środka. Przykładem luster weneckich są również okulary przeciwsłoneczne, tzw. lustrzanki.



To najważniejsze

- Grzbiety fal układają się w **powierzchnie falowe**.
- W zależności od kształtu powierzchni falowych wyróżniamy **fale płaskie** i **koliste** na płaszczyźnie (np. na powierzchni wody) oraz **fale płaskie** i **kuliste** w przestrzeni.
- **Promienie fal** to linie prostopadłe do powierzchni falowych.
- **Prawo odbicia:** Kąt odbicia jest równy kątowi padania. Oba te kąty leżą w jednej płaszczyźnie.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Jakiego rodzaju fala powstanie w opisanym przypadku: płaska, kulista czy kolista? Wiadomo, że określenie rodzaju fali jest pewnym przybliżeniem. Wyjaśnij w każdym z przypadków, na czym polega to przybliżenie.

a) Uderzamy palcem w powierzchnię wody.

b) Uderzamy krawędzią linijki w powierzchnię wody.

c) Zapałka płonie i emituje światło.

d) Reflektor rzuca na scenę równoległą wiązkę światła.

2. Rysunek przedstawia trzy symbole sieci wi-fi. Który z nich najlepiej oddaje kształt rzeczywistych powierzchni falowych mikrofal emitowanych przez antenę routera? Uzasadnij swoją odpowiedź. Skorzystaj z „A to ciekawe” na s. 135.

A. B. C.



3. W południe w dniu przesilenia zimowego w Gdańsku słońce znajduje się 13° nad horyzontem, co oznacza, że jego promienie tworzą taki właśnie kąt z poziomem. Promień światła słonecznego odbija się od blaszanego dachu nachylonego do poziomu pod kątem 30°. Pod jakim kątem do poziomu jest nachylony promień odbity?



Doświadczenie domowe

Koc ratunkowy jako lustro weneckie

1. Doświadczenie najlepiej wykonać w dwie osoby. Przygotuj koc ratunkowy (inna nazwa: folia NRC).

2. W jasny dzień niech jedno z was stanie na balkonie i zasłoni szybę w drzwiach balkonowych kocem ratunkowym. Kto widzi drugą osobę, a kto tylko swoje odbicie? Sprawdźcie, czy ma znaczenie to, którą stroną koc jest obrócony do wewnątrz, a którą na zewnątrz.

3. Powtórzcie doświadczenie, gdy na dworze jest ciemno, a w domu pali się światło.

4. Koc ratunkowy można wykorzystać do ochrony przed upałem. Czy lepiej zasłonić nim okno od wewnątrz, czy od zewnątrz? Jakie wady ma takie zastosowanie koca?



21 Rozpraszanie fal



Dlaczego zachodzące słońce jest czerwone?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, dlaczego w kartce papieru nie da się przejrzeć.
- Nauczysz się demonstrować rozpraszanie światła w ośrodku.
- Zrozumiesz, dlaczego niebo w dzień jest błękitne, a zachodzące słońce – czerwone.

Rozpraszanie fali na wodzie

Wykonajmy doświadczenie z falami na wodzie w nieco innej wersji.

Doświadczenie 10.

Rozpraszanie fal na wodzie

1. Przygotuj duże prostokątne naczynie o jasnym dnie, lampkę, kilka małych szklanek albo podobnych przedmiotów, deseczkę lub linijkę. Nalej do naczynia trochę wody.

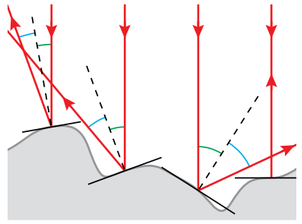
2. Ustaw naczynie tak, aby dokładnie widzieć jego wnętrze (np. na niskim stoliku). Oświetl je mocno od góry. Na jednym końcu naczynia ustaw kilka szklanek (patrz zdjęcie).

3. Za pomocą deseczki puść z przeciwległego końca naczynia pojedynczy impuls fali płaskiej. Obserwuj, co się stanie, gdy fala dotrze do szklanek.



Analiza doświadczenia

Jak obserwujemy w doświadczeniu, po napotkaniu nieregularnej powierzchni utworzonej przez szklanki fala płaska się odbiła. Jednak fala odbita nie była już płaska – jej powierzchnie falowe stały się nieregularne. Mówimy, że fala została **rozproszona**.
W każdym z miejsc z osobna fala odbijała się zgodnie z prawem odbicia, czyli kąt odbicia był równy kątowi padania, jednak były to kierunki mierzone względem różnych prostych (patrz rys. obok).



▲ Rozproszenie po odbiciu od nieregularnej powierzchni. Dla każdego z promieni zaznaczono styczną do powierzchni, linię do niej prostopadłą oraz kąt padania i kąt odbicia

Rozpraszanie światła podczas odbicia

W podobny sposób zachowuje się światło. Biała kartka odbija światło równie dobrze jak lustro. Jednak lustro jest gładkie, a kartka chropowata (patrz zdjęcie), nawet jeśli gołym okiem wydaje się gładka. Dlatego kartka rozprasza światło i nie tworzy obrazu, tak jak to robi zwierciadło – nie da się w niej przejrzeć.



▲ W dużym powiększeniu widać, że kartka papieru nie jest gładka

Rozpraszanie światła w ośrodku

Światło ulega rozpraszaniu nie tylko przy odbiciu od powierzchni. To zjawisko zachodzi także wtedy, gdy w czasie biegu przez ośrodek światło napotyka jego niejednorodności.

Doświadczenie obowiązkowe

Obserwacja rozpraszania światła w ośrodku

1. Przygotuj dezodorant w aerozolu (sprayu) oraz wskaźnik laserowy. Uważaj, aby światło lasera nie wpadło do oczu ani tobie, ani innym osobom.
2. Poświeć laserem na białą ścianę. Co obserwujesz?
3. Rozpyl w powietrzu na drodze promienia laserowego trochę aerozolu. Jak zmieniają się twoje obserwacje?



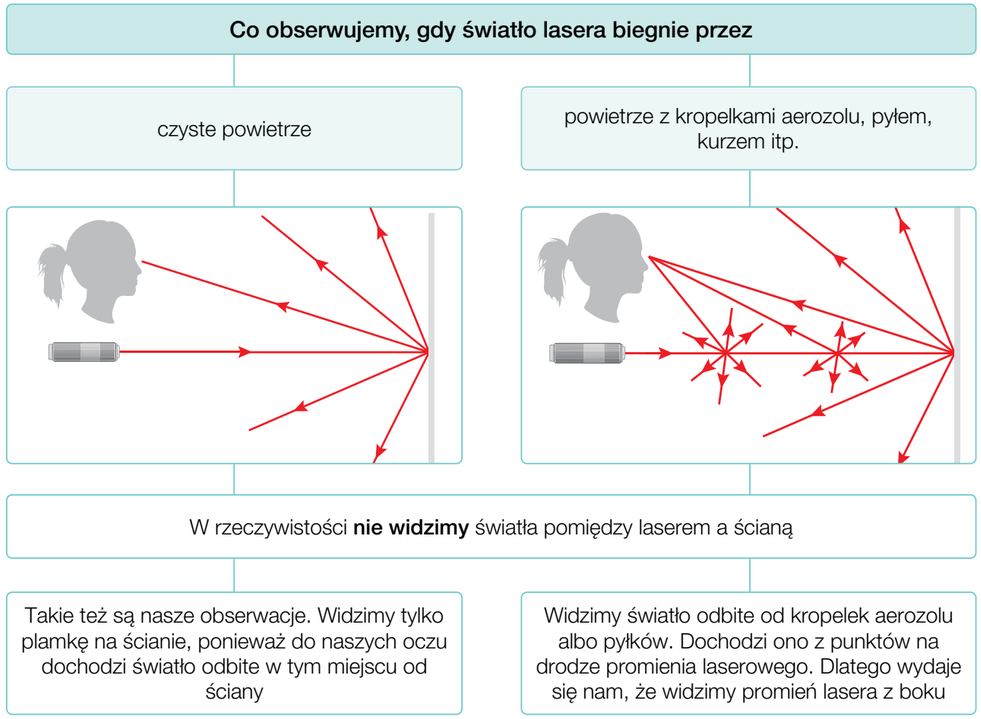
Jak mogliśmy zauważyć, promień światła jest widoczny tylko wtedy, gdy w powietrzu znajdują się kropelki dezodorantu (albo na przykład pyłki kurzu lub inne niejednorodności). W czystym powietrzu nie widać promienia światła, a tym bardziej nie widać go w kosmicznej próżni, jak to czasem można zobaczyć na filmach fantastycznych (patrz zdjęcie).



▲ Kadr z filmu *Star Trek*

Wyjaśnienie wyników doświadczenia

Aby wyjaśnić obserwowane zjawisko, zwróćmy uwagę na fakt, że światło widzimy tylko wtedy, gdy dociera do naszych oczu, a nie wtedy, gdy biegnie obok nas w inną stronę.



Zwróć uwagę, że światło odbija się od kropel albo pyłków w różnych kierunkach. Mówimy, że ulega ono **rozproszeniu**. Tylko niewielka część rozproszonego światła lasera dociera do naszych oczu. I całe szczęście – taka jego ilość nie jest szkodliwa dla wzroku.

> Promień światła **rozprasza się** na niejednorodnościach ośrodka.

Tak więc jeśli w sali widać promień lasera bez rozpylania dezodorantu, to znaczy, że jest w niej dużo kurzu lub innych zanieczyszczeń.

Widzimy dzięki odbiciu i rozproszeniu światła

Jak wiesz, nasz zmysł wzroku działa dzięki temu, że do naszych oczu wpada światło. Gdyby jednak nie zjawisko odbicia światła, moglibyśmy widzieć tylko źródła światła, np. Słońce lub żarówkę. Z kolei gdyby odbite od przedmiotów światło nie rozpraszało się, ale zawsze odbijało jak od lustra, przedmioty wyglądałyby zwykle na ciemne, z wyjątkiem chwili, gdy widzielibyśmy w nich oślepiający blask Słońca.
Na zdjęciu widzisz, jak światło słoneczne pada na książkę, odbija się od niej i rozprasza. Niektóre spośród promieni rozchodzących się w różnych kierunkach trafiają do oczu czytającego. Odbite światło nie jest zbyt silne, a książka jest widoczna niezależnie od tego, z której strony na nią patrzymy.



▲ Mężczyzna widzi książkę dzięki odbiciu i rozproszeniu światła

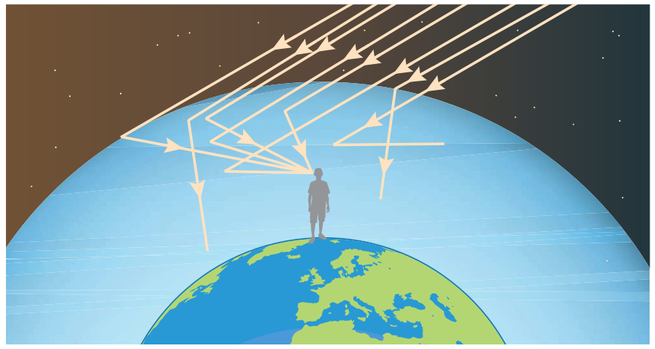
Dlaczego niebo w dzień jest jasne

Rzadko zastanawiamy się nad tym, dlaczego w ciągu dnia niebo nie jest czarne. O tym, że mogłoby tak być, świadczą zdjęcia z Księżyca (patrz zdjęcie obok). Nawet gdy Słońce i Ziemia świecą jasno na jego niebie, samo niebo nad Księżycem pozostaje ciemne.

Tę różnicę między Ziemią a Księżycem zawdzięczamy istnieniu na naszej planecie atmosfery. Światło słoneczne dociera do Ziemi jako wiązka niemal równoległych promieni. Ulega jednak rozproszeniu w atmosferze, a rozproszone promienie biegną w najrozmaitszych kierunkach. Część z nich trafia akurat do naszych oczu (patrz rys. poniżej). Ponieważ dochodzą one do oczu ze wszystkich stron, wydaje nam się, że otacza nas wielka błękitna pokrywa, którą nazywamy niebem.



▲ Niebo widziane z Księżyca zawsze jest ciemne



▲ Światło rozproszone w atmosferze dociera do naszych oczu

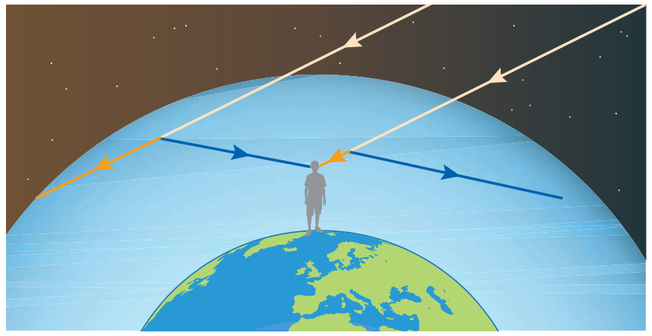
Na rysunku przedstawiono głównie promienie docierające do oczu obserwatora, ale znacznie więcej promieni po rozproszeniu biegnie w różnych innych kierunkach.

W rzeczywistości nic takiego nie istnieje. Gdy patrzymy do góry, widzimy po prostu światło rozproszone w powietrzu. Nie ma też sensu pytać, jak wysoko nad nami znajduje się błękitne niebo – światło odbija się od niejednorodności powietrza na różnych wysokościach.

Dlaczego niebo jest błękitne

Skoro jednak światło jasnego nieba w rzeczywistości jest rozproszonymi promieniami słonecznymi, to dlaczego niebo jest błękitne, a nie żółte jak Słońce?

Przede wszystkim, światło emitowane przez Słońce jest białe, a nie żółte (możemy to zobaczyć, gdy spojrzymy na naszą gwiazdę znad atmosfery, np. z satelity). Jednak gdy dociera ono do atmosfery, fale o różnej długości ulegają rozproszeniu w różnym stopniu: krótsze, czyli fioletowe i niebieskie, silniej, pozostałe słabiej (patrz rysunek na następnej stronie). Te pozostałe długości odbieramy łącznie jako żółtą barwę słońca. Światła fioletowego jest w widmie Słońca niewiele. Natomiast rozproszone światło niebieskie dociera do nas z różnych stron i właśnie to światło widzimy jako błękit nieba.

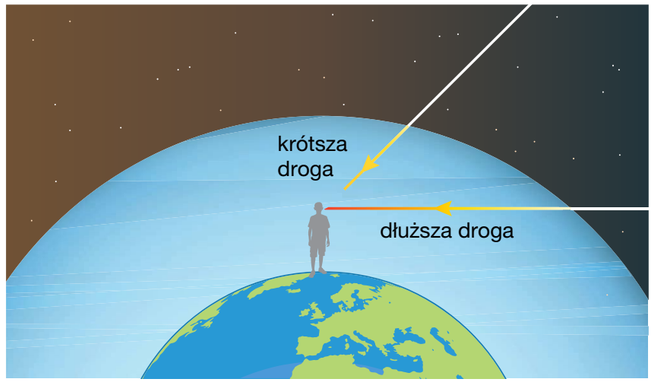


◀ Gdy białe światło słoneczne dociera do atmosfery, światło niebieskie rozprasza się silniej niż pozostałe barwy (łącznie widoczne jako żółte)

Dlaczego zachodzące słońce jest czerwone

Zauważmy, że im dłuższa droga promienia słonecznego w atmosferze, tym więcej krótkich fal ulega rozproszeniu i tym bardziej barwa słońca jest zbliżona do czerwieni. Z czym ci się to kojarzy?

Gdy słońce jest nisko nad horyzontem, jego światło przebywa dłuższą drogę w atmosferze (patrz rys. poniżej) i jest silniej rozpraszane. Stąd właśnie czerwony kolor wschodzącego i zachodzącego słońca.



◀ Tuż po wschodzie i tuż przed zachodem Słońca jego światło przebywa dłuższą drogę w atmosferze niż ma to miejsce w południe

To najważniejsze

- Gdy fala odbija się od nieregularnej powierzchni, ulega **rozproszeniu** – jej promienie odbijają się w różne strony.
- Fala ulega rozproszeniu także na niejednorodnościach ośrodka, w którym się rozchodzi.
- Niebo w dzień jest jasne, ponieważ światło słoneczne rozprasza się na niejednorodnościach w atmosferze. Światło niebieskie ulega silniejszemu rozproszeniu – dlatego niebo jest niebieskie.
- Gdy słońce znajduje się nisko nad horyzontem, jego światło przebywa dłuższą drogę w atmosferze i w większym stopniu ulega rozproszeniu. Dlatego dociera do nas głównie światło czerwone.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. W wielu filmach widzimy, jak osoby włamujące się do pomieszczenia chronionego alarmem rozpylają dym, co pozwala im zobaczyć promienie światła w instalacji alarmowej.



Wyjaśnij, dlaczego światło zaczyna być widoczne dopiero po rozpyleniu dymu.

2. Choć trudno w to uwierzyć, wciąż istnieją osoby przekonane, że Ziemia jest płaska, a kosmos nie istnieje. Jeden z ich argumentów brzmi: „Na zdjęciach pokazujących rzekomo kosmos widać, że jest tam ciemno, a to znaczy, że nie ma tam światła. W takim razie niemożliwe, aby światło Słońca docierało do Ziemi poprzez kosmos. Gdyby tak było, także w kosmosie byłoby jasno". Na czym polega błąd w takim rozumowaniu?

3. Przepisz do zeszytu zdania i uzupełnij je nazwami odpowiednich barw.

Słońce emituje ////// światło, złożone z wielu różnych barw. W atmosferze Ziemi światło ////// rozprasza się mocniej niż pozostałe barwy i dociera do nas ze wszystkich stron jako światło błękitnego nieba. Natomiast światło Słońca pozbawione częściowo niebieskiego odbieramy jako barwę //////, a gdy Słońce jest nisko nad horyzontem – jako //////.

4. Na zdjęciach widzisz tę samą białą kartkę sfotografowaną w bezchmurny dzień w dwóch miejscach: oświetlonym bezpośrednio przez słońce (zdjęcie A) oraz w cieniu drzewa (zdjęcie B). Dlaczego zdjęcie B jest niebieskawe? Dlaczego zdjęcie A nie ma takiego zabarwienia?

A.



B.



5. Czerwona barwa zachodzącego słońca jest szczególnie intensywna po wybuchach wulkanów. Wyjaśnij, dlaczego tak się dzieje.

Doświadczenie domowe

Oświetlamy książkę ręką

1. Przygotuj latarkę (może być w telefonie) oraz dowolną książkę lub kawałek zadrukowanego papieru. Doświadczenie wykonaj w półmroku.

2. Połóż na stole książkę. Włącz latarkę i skieruj ją obok książki, tak aby pozostawała ona w cieniu.

3. Od dłoni drugiej ręki odbij światło latarki jak od zwierciadła tak, aby padło na książkę, i zobacz, o ile jest ona jaśniejsza.



22 Załamanie fali



Dlaczego przedmioty zanurzone w wodzie czasami wyglądają jak złamane?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak zmienia się kierunek fali przy przejściu do innego ośrodka.
- Nauczysz się wyjaśniać powstawanie niektórych złudzeń optycznych.

Przejście fali do innego ośrodka

Kiedy nurkujesz w basenie, słyszysz dźwięki powstające poza wodą. Widzisz też, że nie jest tam całkiem ciemno. Fala dźwiękowa i światło mogą więc przejść z jednego ośrodka do drugiego, w tym przypadku: z powietrza do wody. Zajmiemy się teraz zjawiskami zachodzącymi podczas przechodzenia fali z jednego ośrodka do drugiego.

Doświadczenie 11.

Załamanie światła

1. Przygotuj jasne, matowe, prostopadłościenne pudełko o wysokości co najmniej 8 cm oraz laser.

Wskazówka. Doświadczenie wykonaj w półmroku.

2. Nalej wody do połowy pudełka.

3. Ustaw laser równolegle do jednej ze ścianek naczynia (jak najbliżej niej) tak, aby światło lasera padało do wody pod pewnym kątem i jednocześnie tworzyło na ściance naczynia widoczną linię (patrz zdjęcie).

4. Naszkicuj bieg promienia światła w tym doświadczeniu.

5. Ponad powierzchnią wody umieść niewielki biały przedmiot (jak na zdjęciu), tak aby światło lasera odbite od wody tworzyło na nim kolorową plamkę (wskazuje ją strzałka na zdjęciu).



Co to jest załamanie fali

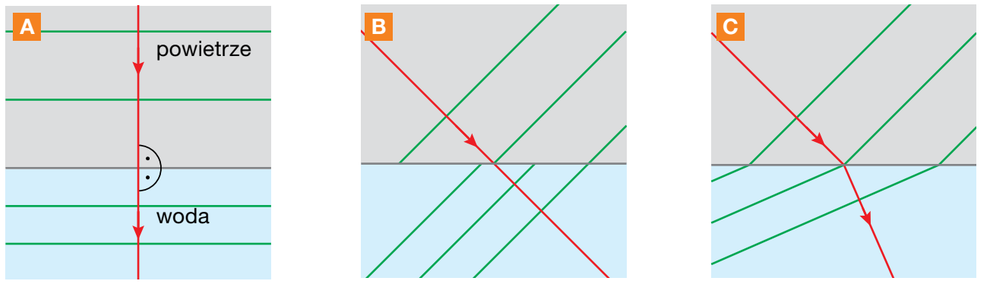
Z doświadczenia 11. wynika, że światło przechodzące z powietrza do wody zmienia kierunek rozchodzenia się.

> Zmiana kierunku rozchodzenia się fali podczas przejścia z jednego ośrodka do drugiego nazywa się **załamaniem fali**.

Zauważmy od razu, że nie całe światło przechodzi do wody i ulega załamaniu – część się odbija. Światło odbite mogliśmy zaobserwować w punkcie 5. doświadczenia. Dzięki temu samemu zjawisku można się przejrzeć w lustrze wody.
Załamanie i odbicie na granicy dwóch ośrodków zachodzi także w przypadku fal dźwiękowych. Jest ono trudniejsze do zaobserwowania, ponieważ niełatwo jest dokładnie śledzić kierunek rozchodzenia się fali dźwiękowej.

Przyczyna załamania fali

Jak już wiesz (patrz s. 106), kiedy fala przechodzi z jednego ośrodka do drugiego i zmienia się jej prędkość, częstotliwość fali się nie zmienia, zatem musi zmienić się jej długość. Dotyczy to także światła, które w wodzie porusza się wolniej niż w powietrzu (rys. A).
Właśnie ze zmianą długości fali jest związane jej załamanie. Spójrz na rysunki poniżej. Gdyby długość fali miała się zmniejszyć bez zmiany kierunku, grzbiety musiałyby ulec przerwaniu (rys. B). Jednak grzbiety fali tworzą linie ciągłe (rys. C), a to jest możliwe tylko po zmianie jej kierunku.
Wyjątek stanowi sytuacja z rysunku A, gdy fala pada na granicę ośrodków prostopadle. Wtedy co prawda kierunek fali się nie zmienia, ale nie wiąże się to z zerwaniem grzbietów.



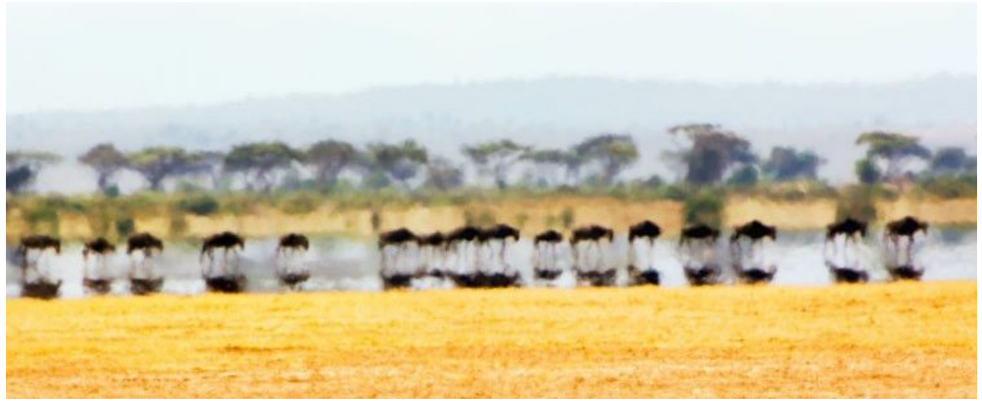
▲ Mechanizm załamania fali. Zielonym kolorem oznaczono grzbiety fali a czerwonym – promień fali

Zjawiska związane z załamaniem światła

Załamanie światła jest przyczyną powstawania wielu **złudzeń optycznych**. Słomka włożona do szklanki z wodą wydaje się złamana. Kiedy patrzymy na basen, może nam się wydawać, że wody jest mniej niż w rzeczywistości. Także powstawanie fatamorgany (patrz zdjęcie na następnej stronie) wynika z załamania światła.



▲ Złudzenie optyczne wywołane załamaniem światła



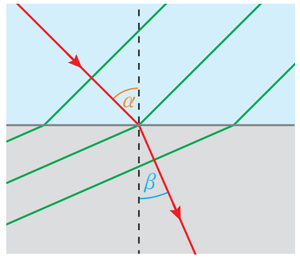
▲ Fatamorgana także jest skutkiem załamania światła

To samo zjawisko wykorzystujemy w praktyce w urządzeniach zawierających soczewki: aparatach fotograficznych, lornetkach, mikroskopach itp. Także oczy człowieka i większości innych zwierząt działają dzięki załamaniu światła.

Soczewka działa dzięki załamaniu światła przy jego przejściu z powietrza do szkła i ze szkła do powietrza.

W którą stronę załamuje się fala

Do opisu zjawiska załamania wygodnie używać dwóch pojęć: kąt padania (kąt α na rysunku) i kąt załamania (kąt β na rysunku). Kąty te mierzymy względem prostej prostopadłej do granicy ośrodków (patrz rys. obok), podobnie jak w przypadku odbicia światła.



▲ Załamanie fali: α – kąt padania, β – kąt załamania

> Gdy fala przechodzi do ośrodka, w którym rozchodzi się wolniej, kąt załamania jest mniejszy od kąta padania.

Natomiast gdy fala przechodzi do ośrodka, w którym rozchodzi się szybciej, kąt załamania jest większy od kąta padania.

Uwaga. Tych zależności nie trzeba się uczyć na pamięć. Zawsze można naszkicować sobie przebieg grzbietów fali i kierunek promieni.

To najważniejsze

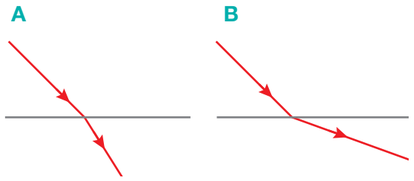
- Gdy fala przechodzi do ośrodka, w którym rozchodzi się z inną prędkością, zmienia się jej długość, a **częstotliwość pozostaje bez zmian**.
- Przy takiej zmianie ośrodka fala **załamuje się**, czyli zmienia kierunek.
- Załamanie nie zachodzi, kiedy fala pada na granicę ośrodków prostopadle do niej.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

Wskazówka. Przy rozwiązywaniu zadań skorzystaj z tabeli prędkości światła w różnych ośrodkach na s. 352.

1. Wskaż, na którym z rysunków przedstawiono przechodzenie światła z powietrza do szkła, a na którym – ze szkła do powietrza.



2. Określ, czy kąt załamania jest większy czy mniejszy od kąta padania, gdy światło przechodzi:
- **a)** z wody do lodu,
- **b)** ze szkła do wody,
- **c)** z lodu do szkła.

3. Fala dźwiękowa przechodzi z powietrza do wody. Wskaż, który z kątów jest większy: padania czy załamania. Czy w przypadku światła jest tak samo?

4. Niektórzy rdzenni mieszkańcy Ameryki Południowej polowali na ryby, strzelając do nich z łuku. Wymagało to wprawy, ponieważ światło przechodzące z wody do powietrza się załamuje. Czy ryba znajduje się nieco niżej, niż ją widzimy, czy nieco wyżej? Uzasadnij swoją odpowiedź za pomocą schematycznego rysunku.



5. Dowiedz się, jak powstaje fatamorgana. Zapisz w kilku zdaniach zdobyte informacje i zanotuj, z jakiego źródła pochodzą. Wykonaj rysunek przedstawiający mechanizm powstawania tego zjawiska.

Doświadczenie domowe

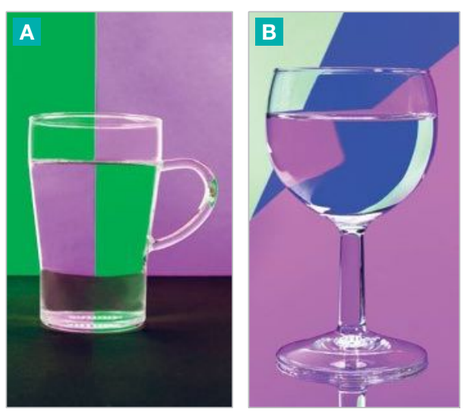
Załamanie światła przez wodę w naczyniu

1. Przyjrzyj się zdjęciom zamieszczonym obok.

2. Przygotuj szklankę z wodą i dwukolorowe tło. Postaraj się uzyskać obraz taki jak na zdjęciu A. Spróbuj wyjaśnić ten efekt.

3. Przygotuj inne tło, aby uzyskać bardziej skomplikowany, ciekawy artystycznie obraz. Inspiracją może być zdjęcie B, ale nie naśladuj go dokładnie.

4. Wykonaj zdjęcie. Postaraj się wyjaśnić obserwowane zjawisko.



23 Całkowite wewnętrzne odbicie



Światłowód może skręcać, a jednak światło dochodzi do jego końca, nawet jeśli znajduje się on na innym kontynencie. Jak to się dzieje?

Cele lekcji:
- Dowiesz się, na czym polega całkowite wewnętrzne odbicie fali.
- Poznasz zasadę działania światłowodu i zbudujesz jego prosty model.

Zbadamy teraz bieg światła przechodzącego z wody do powietrza.

Doświadczenie 12.

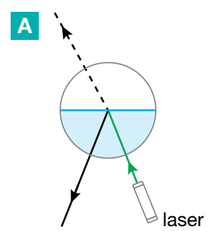
Częściowe i całkowite wewnętrzne odbicie

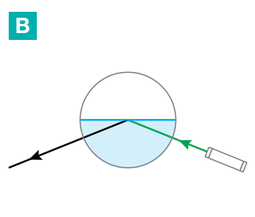
1. Przygotuj laser, szklany słoik o pionowych ściankach (choćby na pewnym odcinku) oraz mleko. Nalej do słoika wody do połowy wysokości, dodaj kroplę mleka, wymieszaj ciecze i dokładnie zakręć słoik.

2. Połóż słoik poziomo tak, aby za nim znajdowała się jasna powierzchnia. Skieruj na jego ściankę światło lasera tak, aby padało wzdłuż średnicy słoika. Wtedy światło nie zmieni kierunku przy wejściu do wody.

3. Obserwuj promienie: biegnący w wodzie do jej powierzchni (na rys. A zaznaczony jako zielony), odbity od tej powierzchni (czarny) oraz taki, który przeszedł z wody do powietrza (linia przerywana). Zwiększaj teraz kąt padania (rys. B). Obserwuj, jak zmieniają się kąt załamania i jasność promienia odbitego.

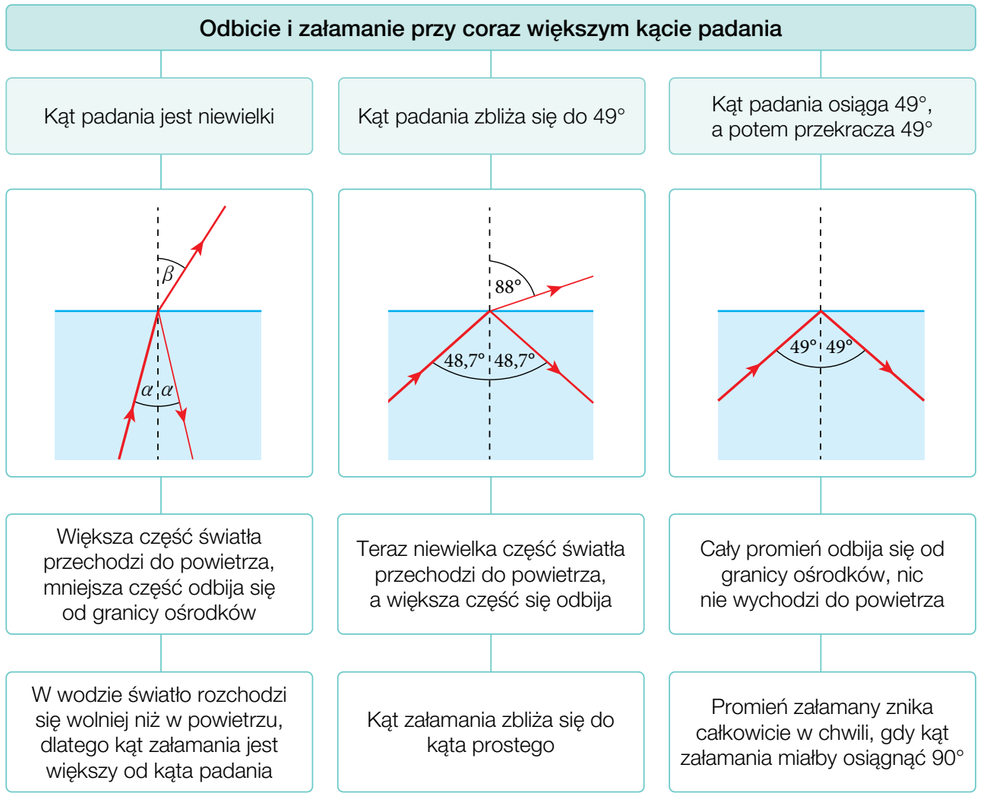






Wyjaśnienie doświadczenia

Przebieg doświadczenia i jego analizę przedstawiamy na diagramie.



Całkowite wewnętrzne odbicie

Okazuje się zatem, że gdy światło próbuje przejść z wody do powietrza, a kąt padania jest większy lub równy **kątowi granicznemu**, wynoszącemu w tym przypadku 49°, wtedy całe światło padające odbija się z powrotem do wody. To zjawisko nazywamy **całkowitym wewnętrznym odbiciem**.

Całkowite wewnętrzne odbicie może zajść nie tylko dla wody i powietrza, ale tylko wtedy, gdy światło próbuje przejść do ośrodka, w którym rozchodzi się szybciej. W odwrotnej sytuacji, np. kiedy światło przechodzi z powietrza do wody, zawsze zachodzi zarówno odbicie, jak i załamanie.

Kąt graniczny zależy od obu ośrodków, a ściślej: od prędkości światła w każdym z nich. Dla kilku wybranych par ośrodków kąty graniczne zebrano w tabeli obok.

Tabela. Kąt graniczny

Granica ośrodków	Kąt graniczny
Woda i powietrze	49°
Szkło i powietrze	42°
Szkło i woda	63°
Diament i powietrze	24°
Lód i powietrze	50°
Cukier i powietrze	40°
Cukier i woda	58°
Diament i woda	33°

A to ciekawe

Brylanty (oszlifowane diamenty) tak pięknie się mienią, ponieważ kąt graniczny dla diamentu (na granicy z powietrzem) jest niewielki i łatwo w nim o całkowite wewnętrzne odbicie. Kiedy jubiler szlifuje diament, nadaje mu taki kształt, aby światło opuszczało brylant tylko w określonych kierunkach. Podobne właściwości ma imitacja diamentu, cyrkonia, czyli kryształ tlenku cyrkonu. Cyrkonie rzadko występują w przyrodzie, ale łatwo wytwarzać je sztucznie, więc są znacznie tańsze od brylantów.



Całkowite wewnętrzne odbicie dźwięku

Choć całkowite wewnętrzne odbicie obserwowaliśmy dla światła, zachodzi ono dla wszystkich rodzajów fal, również dla fal mechanicznych. Także w ich przypadku to zjawisko zachodzi tylko wtedy, gdy fala pada na granicę ośrodka, w którym rozchodzi się szybciej.

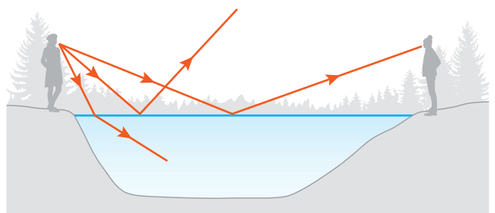
Fale dźwiękowe rozchodzą się znacznie szybciej w metalach niż w powietrzu. Dlatego gdy fala dźwiękowa rozchodząca się w powietrzu pada pod odpowiednio dużym kątem na stalową blachę, w ogóle nie przechodzi do metalu, ale w całości się od niego odbija. Kąt graniczny w tym wypadku wynosi zaledwie ok. 3°, a więc odbija się prawie cały dźwięk.

Na pewno znasz to zjawisko, gdy dziecko, które stoi przy końcu rurowej zjeżdżalni, doskonale słyszy kolegów z drugiego jej końca (patrz rys. A). Jednak całkowite odbicie fal dźwiękowych od metalu świadomie wykorzystywano od bardzo dawna. Zanim rozpowszechnił się elektryczny telefon, marynarze między mostkiem a maszynownią mogli porozumiewać się za pomocą stalowej rury (patrz rys. B).



▲ Całkowie odbicie dźwięku od stali na placu zabaw A i na statku B

Również w wodzie dźwięk porusza się szybciej niż w powietrzu, dlatego łatwo słyszeć dźwięki z drugiego brzegu jeziora (patrz rys. poniżej).



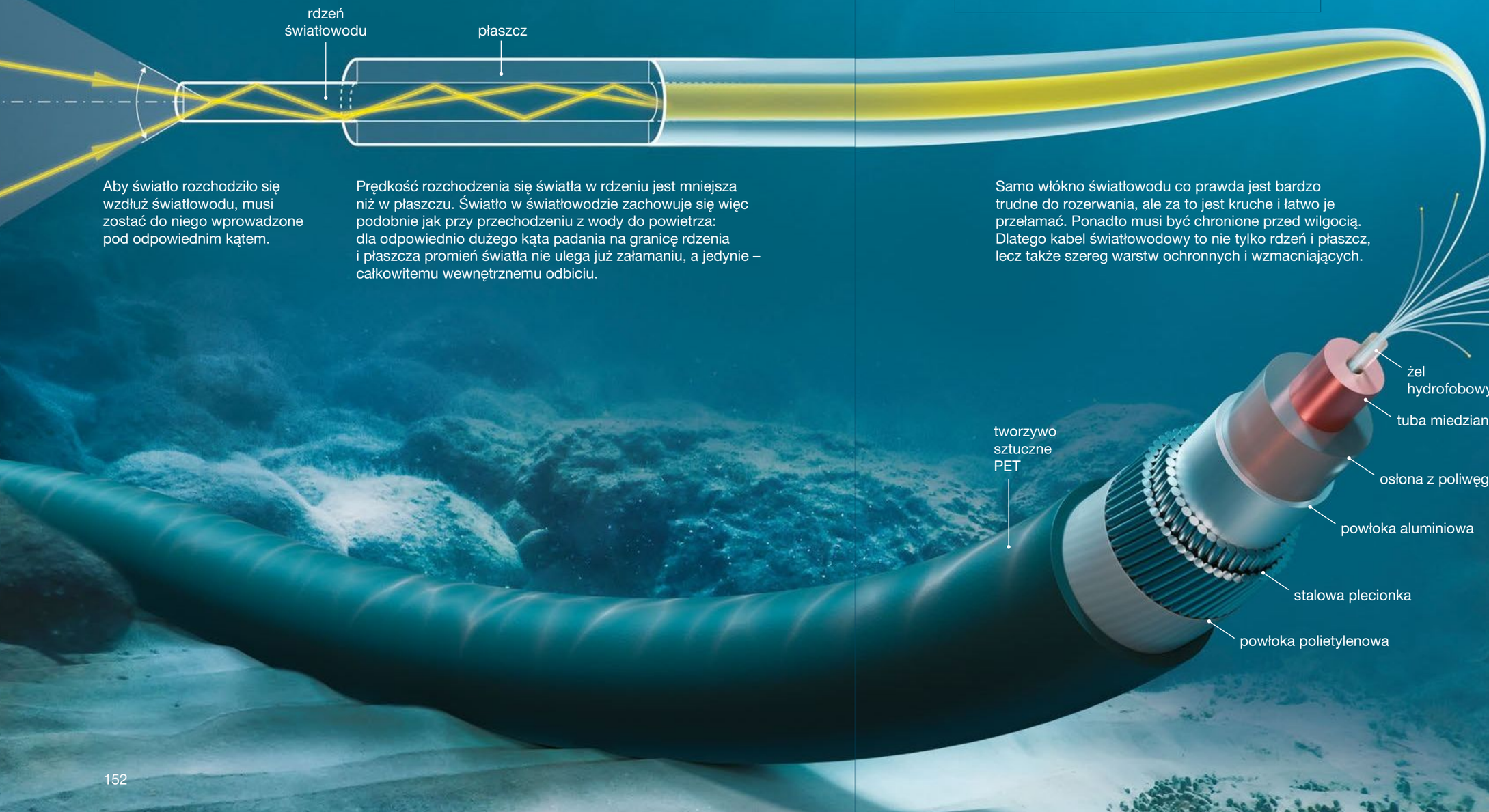
◀ Dzięki całkowitemu odbiciu dźwięku od powierzchni wody nad jeziorem słychać dźwięk z drugiego brzegu

ŚWIATŁOWODY

Przesyłanie informacji, np. sygnału internetowego albo programów telewizji kablowej, za pomocą światłowodów stało się powszechne. Światłowodowe kable telekomunikacyjne położone na dnie oceanów łączą kontynenty. Jak działa taki światłowód? Jak zbudowany jest kabel światłowodowy?

Działanie światłowodu

Światłowód działa dzięki zjawisku całkowitego wewnętrznego odbicia. Głównym elementem światłowodu jest w najprostszym przypadku włókno zrobione z dwóch rodzajów szkła lub tworzywa sztucznego tworzących tzw. rdzeń i płaszcz.

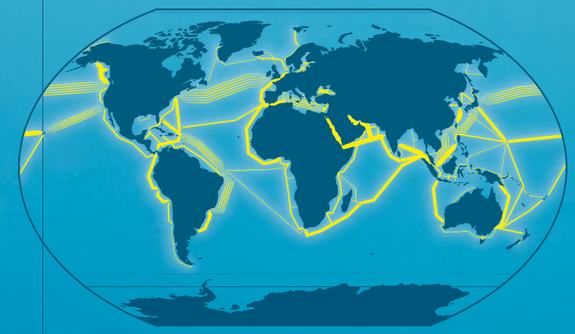


Aby światło rozchodziło się wzdłuż światłowodu, musi zostać do niego wprowadzone pod odpowiednim kątem.

Prędkość rozchodzenia się światła w rdzeniu jest mniejsza niż w płaszczu. Światło w światłowodzie zachowuje się więc podobnie jak przy przechodzeniu z wody do powietrza: dla odpowiednio dużego kąta padania na granicę rdzenia i płaszcza promień światła nie ulega już załamaniu, a jedynie – całkowitemu wewnętrznemu odbiciu.

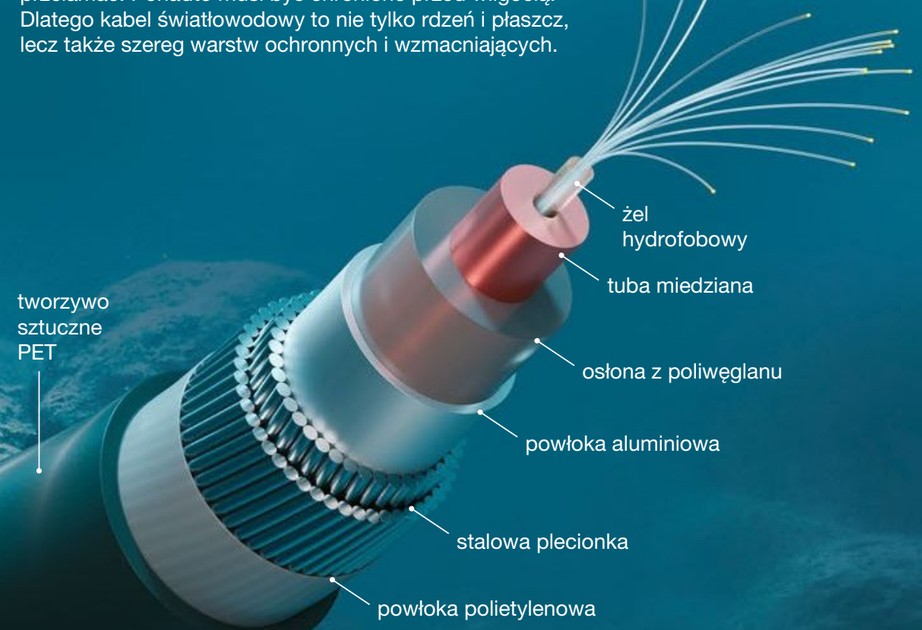
Podmorskie kable światłowodowe

Obecnie jest ok. 400 podmorskich kabli światłowodowych, które mogą przesyłać informacje z prędkością nawet 210 Tbit/s. Tak wielka przepustowość wynika stąd, że każdy kabel składa się z bardzo wielu włókien, a każde z nich może jednocześnie przenosić wiele sygnałów. Światłowodami przepływa 95% informacji z całego ruchu telekomunikacyjnego (obejmującego także tradycyjne kable miedziane i komunikację satelitarną).



Włókno światłowodowe (rdzeń i płaszcz) ma średnicę 125 µm, czyli mniej więcej tyle, ile ludzki włos.

Samo włókno światłowodu co prawda jest bardzo trudne do rozerwania, ale za to jest kruche i łatwo je przełamać. Ponadto musi być chronione przed wilgocią. Dlatego kabel światłowodowy to nie tylko rdzeń i płaszcz, lecz także szereg warstw ochronnych i wzmacniających.



To najważniejsze

- Gdy światło przechodzi do ośrodka, w którym rozchodzi się szybciej, np. ze szkła do powietrza, załamuje się i jednocześnie odbija.
- Gdy kąt załamania zbliża się do 90°, coraz większa część światła się odbija, a coraz mniejsza załamuje. Jeśli światło pada pod pewnym kątem, zwanym kątem granicznym, lub pod kątem większym od granicznego, to światło w całości ulega odbiciu, bez załamania – mówimy wtedy o całkowitym wewnętrznym odbiciu.
- Całkowite wewnętrzne odbicie wykorzystujemy w praktyce w światłowodach.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

Wskazówka. Możesz skorzystać z tabeli kątów granicznych na s. 150.

1. Określ, czy całkowite wewnętrzne odbicie zachodzi, jeśli promień światła pada na granicę powietrza i wody:
   a) od strony wody pod kątem 40°,
   b) od strony wody pod kątem 60°,
   c) od strony powietrza pod kątem 40°,
   d) od strony powietrza pod kątem 60°.
2. Dźwięk ulega całkowitemu wewnętrznemu odbiciu na granicy wody i powietrza wtedy, gdy pada na nią od strony powietrza. Światło natomiast wtedy, gdy pada od strony wody. Skąd się bierze ta różnica?
3. Szklany pryzmat ma kształt graniastosłupa o podstawie trójkąta prostokątnego równoramiennego. Wokół pryzmatu znajduje się powietrze. Promień światła pada prostopadle na jedną z jego ścianek. Przerysuj rysunek do zeszytu i naszkicuj dalszy bieg promienia. Rozważ dwa przypadki zgodnie z rysunkami.

4. Dowiedz się, w jaki sposób wykorzystuje się całkowite wewnętrzne odbicie w pryzmacie do budowy lornetek.
   Wskazówka. Skorzystaj z rozwiązania zadania 3.

Doświadczenie domowe

Światłowód z wody

Zbudujesz prosty, działający, choć nietrwały światłowód.

1. Przygotuj laser, dużą butelkę po wodzie mineralnej i gwóźdź. Przyda się pomoc drugiej osoby.
2. W ściance butelki w pobliżu dna zrób gwoździem niewielki otwór. Ścianka powinna być pionowa, przynajmniej w okolicach otworu.



3. Nalej do butelki wody do pełna i trzymaj ją nad wanną. Poproś o zgaszenie światła.
4. Trzymaj butelkę pionowo i świeć na nią laserem po przeciwnej stronie, niż znajduje się otwór (patrz zdjęcie). Obserwuj, jak światło biegnie przez zakrzywiony strumień wody.

F

24 Tęcza i halo



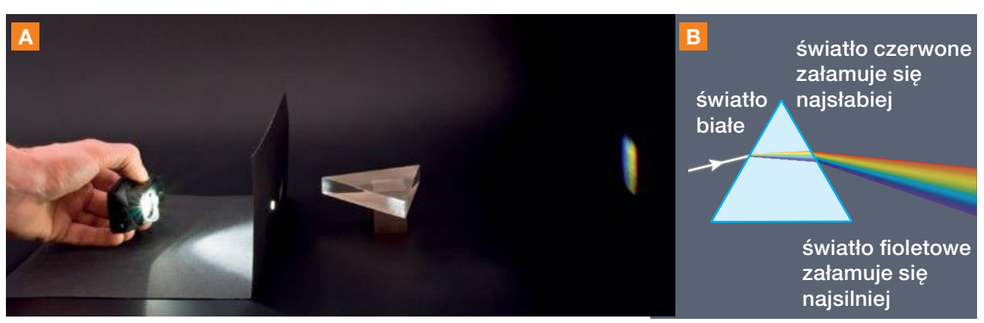
Dlaczego w drugiej, zewnętrznej tęczy barwy są ułożone odwrotnie?

Cele lekcji

- Przypomnisz sobie, w jaki sposób światło białe rozszczepia się na różne barwy.
- Dowiesz się, jak powstaje tęcza i halo na niebie.

Rozszczepienie światła

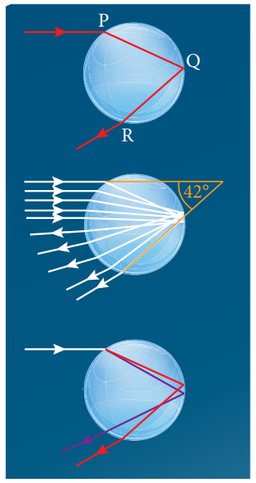
Przypomnijmy, że światło białe jest mieszaniną fal o różnych częstotliwościach, czyli o różnych barwach. W jaki sposób da się je **rozszczepić**, czyli rozdzielić na poszczególne barwy? Jednym ze sposobów jest wykorzystanie zjawiska załamania światła. Światło białe się rozszczepia, ponieważ światło o poszczególnych barwach porusza się w ośrodkach z różnymi prędkościami (zob. tabela 8, s. 352), a więc załamuje się w różnym stopniu. Dzięki temu zjawisku światło można rozszczepić za pomocą pryzmatu (patrz rys. obok zdjęcia poniżej).



▲ A Pryzmat pozwala rozszczepić światło białe na poszczególne barwy. B Schemat rozszczepienia światła w pryzmacie

Rozszczepienie światła przez kroplę wody

Aby wyjaśnić powstawanie tęczy, zastanówmy się najpierw, co się dzieje, kiedy promień białego światła pada na kulistą kroplę wody.



Światło przechodzi z powietrza do kropli wody i ulega załamaniu (punkt P). Następnie jego część odbija się od granicy wody i powietrza (punkt Q). Dalej przechodzi z wody do powietrza i ponownie ulega załamaniu (punkt R).

Okazuje się, że spośród wielu równoległych promieni najwięcej opuszcza kroplę pod kątem ok. 42° w stosunku do kierunku, z którego przybyło.

Miara tego kąta zależy od barwy światła – jest najmniejsza dla światła fioletowego, a największa dla czerwonego.

Tęcza na niebie

Tęcza na niebie powstaje dzięki rozszczepieniu światła przez krople wody (patrz ramka). Aby zobaczyć tęczę, musimy patrzeć w stronę obszaru, w którym jednocześnie:

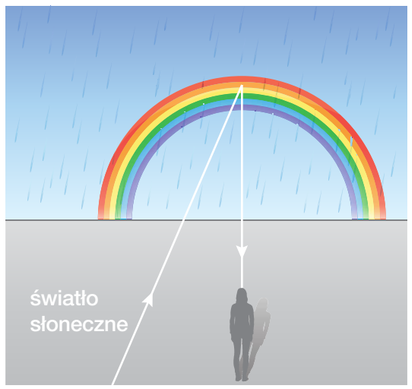
- pada deszcz,
- słońce jest widoczne na bezchmurnej części nieba.

W takich warunkach promienie światła słonecznego padają bezpośrednio na krople wody zawieszone w powietrzu.

Tęcza jest rzadkim zjawiskiem właśnie dlatego, że podczas deszczu słońce na bezchmurnej części nieba nie pojawia się często.

Tyłem do słońca

Jest jeszcze drugi warunek, który musimy spełnić, aby widzieć tęczę: musimy stać tyłem do słońca (patrz rys.). Jak mogliśmy zobaczyć na ilustracjach z ramki powyżej, w kropli wody światło niemal zawraca. Zatem abyśmy mogli zaobserwować tęczę, musi ono nadlecieć od naszej strony i do nas wrócić.



▲ Dlaczego tęczę widzimy po drugiej stronie nieba niż słońce?

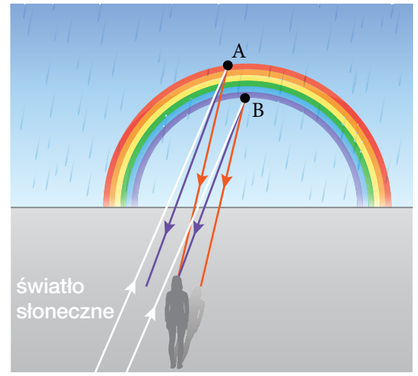
Jedna tęcza z wielu kropli

Spośród opuszczających kroplę promieni światła o różnych barwach tylko jeden promień może trafić do oczu obserwatora (patrz rys. na górze następnej strony).

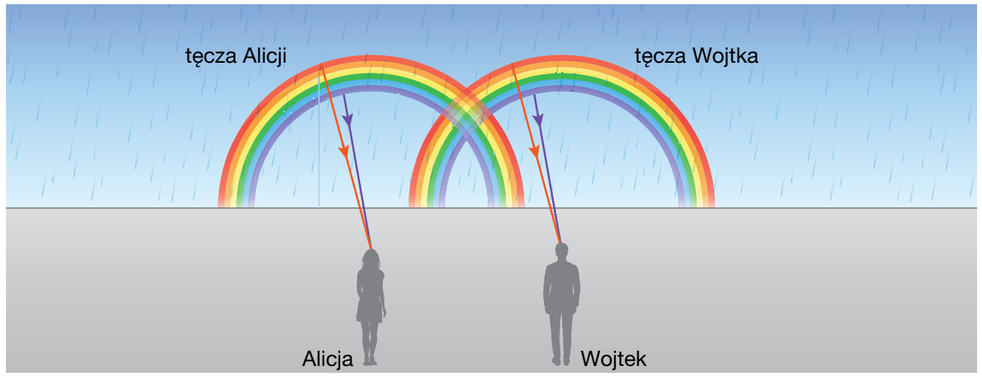
Jednak deszcz to bardzo wiele kropel, a każda z nich rozszczepia światło na wszystkie barwy. Te barwy widzimy jednocześnie dlatego, że dochodzi do nas światło z bardzo wielu kropel.

Każdy ma własną tęczę

Rysunek obok przedstawia tęczę widzianą przez jednego obserwatora. Gdyby stanął on gdzie indziej, do jego oka docierałoby światło z innych kropli. Nawet jeśli dwie osoby stoją obok siebie i jednocześnie oglądają tęczę, to tak naprawdę każda z nich ogląda własną tęczę – powstaje ona w innych kroplach wody (patrz rys. poniżej).



▲ Choć z każdej kropli biegną promienie światła o różnych barwach, to do obserwatora z kropli A dociera tylko światło czerwone, a z kropli B – tylko fioletowe



▲ Każdy widzi tęczę dokładnie naprzeciwko siebie

Jaki kształt ma tęcza

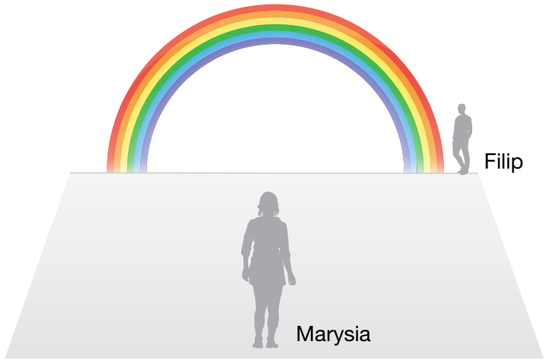
Na ogół widzimy tęczę w postaci łuku. W wielu językach od tego kształtu pochodzi jej nazwa (np. ang. *rainbow* – dosł. deszczowy łuk). Jednak pełna tęcza ma **kształt okręgu**. Zwykle nie widzimy jego części poniżej horyzontu. Pełną tęczę udaje się czasem zaobserwować w górach lub z pokładu samolotu (patrz zdjęcie).



◀ Tęcza ma kształt okręgu, ale widać to tylko wtedy, gdy patrzymy na nią z dużej wysokości

Poszukujemy końca tęczy

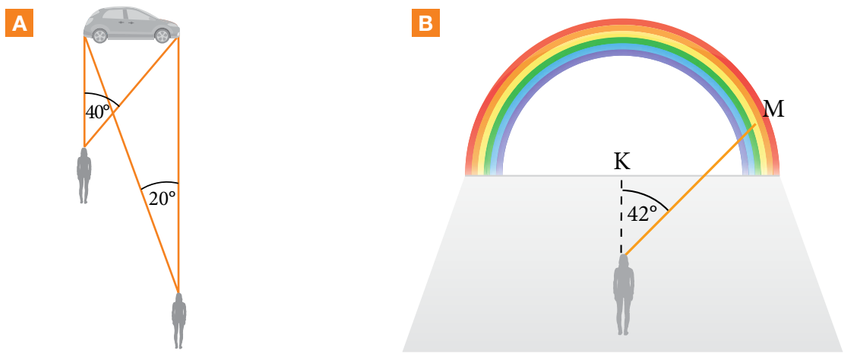
Jeśli spróbujemy pójść do końca tęczy, nie znajdziemy nie tylko legendarnego garnka ze złotem, ale nawet samego końca tęczy. W sytuacji przedstawionej na rysunku Marysia widzi, że Filip znajduje się na końcu tęczy, ale Filip nie widzi tej tęczy, a czuje jedynie, że pada na niego deszcz. Tęcza nie jest prawdziwym obiektem umieszczonym gdzieś w przestrzeni.



◀ Z punktu widzenia Marysi Filip znajduje się na końcu tęczy. On sam jednak niczego takiego nie obserwuje

Jak duża jest tęcza

Aby odpowiedzieć na to pytanie, dobrze uświadomić sobie oczywisty fakt: gdy zbliżamy się do jakiegoś materialnego przedmiotu, np. samochodu, wydaje się on nam coraz większy. Aby to wrażenie opisać w sposób ścisły, używamy pojęcia **rozmiaru kątowego** (patrz rys.)



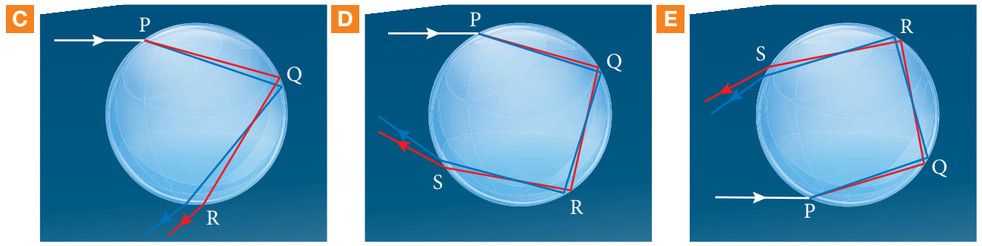
▲ A Rozmiar kątowy samochodu (mierzony w stopniach kątowych) jest tym większy, im bliżej do niego podejdziemy B Promień kątowy tęczy wynosi zawsze 42°

Okazuje się, że tęcza ma stały promień kątowy: 42°. Dlatego gdy się do niej zbliżamy, mamy wrażenie, że tęcza przed nami ucieka. Dzieje się tak, ponieważ intuicyjnie uznajemy, że stały promień kątowy oznacza stałą odległość.

Jak powstaje druga tęcza

Wiesz już, że tęczę tworzą promienie światła, które raz odbiły się od jej wewnętrznej powierzchni (w punkcie Q na rysunku C na następnej stronie).

Jednak także w punkcie R część światła odbija się od wewnętrznej powierzchni kropli, a wychodzi z niej dopiero przy kolejnej okazji (w punkcie S na rysunku D).
Promienie załamane w punkcie S są kierowane w górę, więc nie dotrą do obserwatora stojącego na ziemi. Jednak białe promienie światła słonecznego padają na całą oświetloną powierzchnię kropli. Wybierzmy zatem inny promień, dla którego punkt P położony jest tak, jak pokazano na rysunku E. Zobaczymy wtedy, że promienie zostają skierowane w dół.



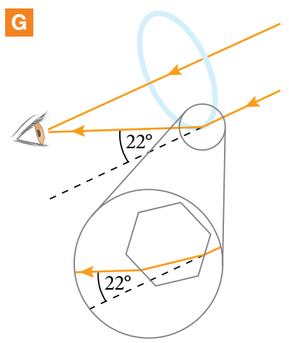
▲ Powstawanie dugiej zewnętrznej tęczy

Z powodu podwójnego odbicia promienie o różnych barwach zamieniają się miejscami, więc zewnętrzna tęcza ma barwy ułożone w odwrotnej kolejności.
A czy może powstać jeszcze trzecia tęcza, tworzona przez promienie, które wewnątrz kropli odbiły się aż trzy razy i dopiero ją opuściły? Tak, ale jest ona tak słaba, że nie da się jej zaobserwować gołym okiem.

Halo

W zimny dzień, gdy w powietrzu zamiast kropel wody znajdują się płaskie, sześciokątne kryształki lodu, zamiast tęczy może tworzyć się **halo** – niemal biały okrąg wokół słońca (patrz zdjęcie F).
W tym przypadku światło nie odbija się od wewnętrznej powierzchni kryształka, ale tylko ulega załamaniu (patrz rys. G poniżej). Światło zmienia kierunek jedynie o ok. 22°, a ten kąt bardzo słabo zależy od barwy światła. Halo jest więc prawie białe – trudno dostrzec jego kolory. Jeśli jednak uda się je zaobserwować, warto zwrócić uwagę na ich ustawienie. Czerwień znajduje się tutaj wewnątrz łuku, czyli odwrotnie niż w przypadku tęczy.





▲ Halo słoneczne F, Schemat jego powstawania G

Tęcza

W tęczy jest nieskończenie wiele różnych barw, ponieważ częstotliwość światła zmienia się w sposób ciągły. Jednak kiedy mamy te barwy wymienić, ograniczamy się zaledwie do kilku.

Dokładna liczba barw tęczy zależy m.in. od tego, które kolory w naszym języku ojczystym traktujemy jako całkowicie różne, a które jako odcienie tej samej barwy. Wpływ ma także to, ilu barw się spodziewamy: jeśli ktoś czytał w dzieciństwie wiersze o „siedmiobarwnej tęczy”, to będzie doszukiwał się takiej właśnie liczby kolorów.

W różnych epokach i kulturach podawano różną liczbę barw tęczy. W IV w. p.n.e. Arystoteles pisał o trzech. Tysiąc lat później Izydor z Sewilli, dziś uznawany w Kościele katolickim za świętego i patrona internetu, wyróżniał cztery barwy. Tę liczbę przyjął na podstawie ówczesnej teorii czterech żywiołów (ziemi, wody, powietrza i ognia). Dopiero Izaak Newton wpadł na pomysł, aby wyróżniać siedem barw tęczy. Uczynił tak jednak nie na podstawie obserwacji, ale przez analogię do siedmiu dźwięków gamy.





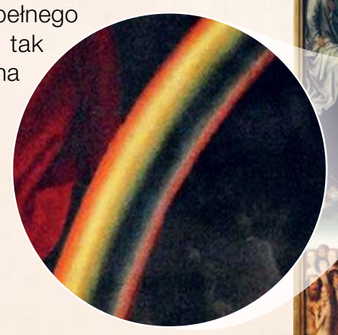
▲ Fragment mozaiki *Historie Noego* (XII–XIV w.), znajdującej się w Bazylice św. Marka w Wenecji. Tęcza jest czterokolorowa





▲ Fragment obrazu *Pora deszczowa w tropikach* (XIX w.) Frederica Edwina Churcha. Tęcza ma trzy kolory i jest podwójna

Również artyści przedstawiali tęczę w różny sposób. Na przykład na obrazie *Sąd Ostateczny* Hansa Memlinga widzimy Chrystusa siedzącego na pięciobarwnej tęczy. Przy okazji zauważmy, że tęcza ma tam kształt niemal pełnego okręgu – i właśnie tak wyglądałaby widziana z dużej wysokości.





▶ Środkowa część tryptyku Hansa Memlinga *Sąd Ostateczny* (II poł. XV w.). Obraz możesz obejrzeć w Muzeum Narodowym w Gdańsku, a jego kopię – w Bazylice Mariackiej w tym mieście. Tęcza ma pięć barw i ma kształt okręgu

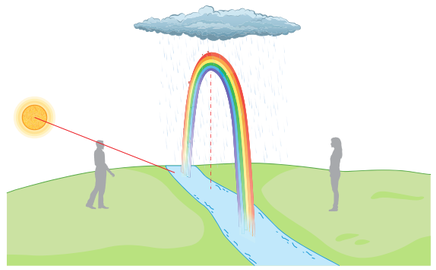
To najważniejsze

- Tęczę widzimy wtedy, gdy stoimy tyłem do słońca, a przed nami znajduje się miejsce, w którym świeci słońce i pada deszcz.
- Kropla wody rozszczepia światło słoneczne na poszczególne barwy.
- Z danej kropli do danego obserwatora dociera światło tylko jednej barwy. Światło dochodzące z wielu różnych kropel widzimy jako tęczę.
- Halo powstaje podobnie jak tęcza, ale na skutek załamania światła w kryształkach lodu.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Maciek i Zosia mieszkają w Toruniu po dwóch stronach Wisły. Pewnego dnia Maciek zobaczył nad Wisłą piękną tęczę. Zadzwonił więc do Zosi, aby ona też mogła zaobserwować to samo zjawisko, tylko od drugiej strony. Czy koleżanka rzeczywiście miała taką możliwość?



2. Które z informacji w ramce dotyczą halo, które tęczy, a które – obu tych zjawisk? Przepisz je do zeszytu w dwóch kolumnach, zatytułowanych „Tęcza” i „Halo”.

- Widzimy ją/je, stojąc tyłem do słońca.
- Widzimy ją/je naokoło słońca.
- Ma kształt okręgu.
- Barwę fioletową ma na zewnątrz łuku.
- Powstaje dzięki załamaniu światła.
- Do jej/jego powstania są potrzebne krople wody.

3. Obejrzyj film *How Rainbows Form* na kanale „Physics Girl” w serwisie YouTube. Wyjaśnij na jego podstawie, dlaczego niebo jest ciemniejsze ponad łukiem tęczy niż poniżej niego.

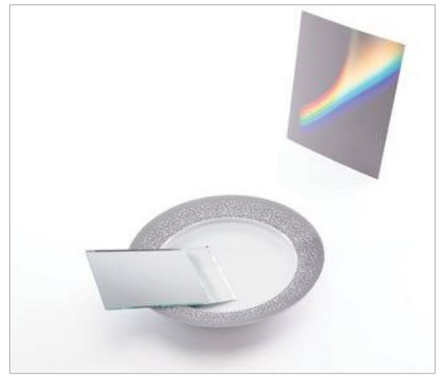
Doświadczenie domowe

Tęcza w domu

1. Przygotuj głęboki talerz, lusterko kieszonkowe i białą kartkę.

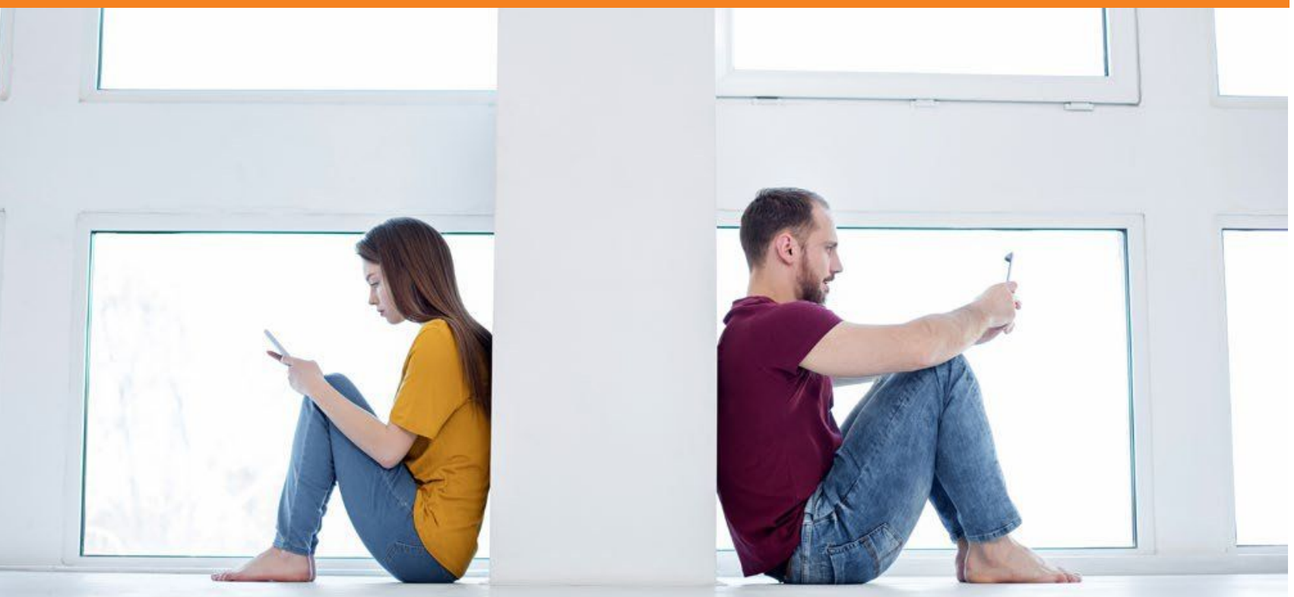
2. W słoneczny dzień nalej wody na talerz (do pełna) i postaw go w miejscu oświetlonym przez promienie słoneczne.

3. Włóż do talerza lusterko. Oprzyj je o brzeg talerza, tak aby było umieszczone ukośnie. Promienie słoneczne powinny padać nie tylko na suchą część lusterka, lecz także na jego część zanurzoną w wodzie.



4. Naprzeciwko lusterka, ale tak, aby nie zasłaniać padającego na nie światła, ustaw kartkę, która posłuży za ekran. Może się okazać, że musisz poszukać odpowiedniego ustawienia – takiego, aby na kartkę padało światło odbite od lusterka.

25 Dyfrakcja



Ania nie widzi Pawła, ale słyszy jego głos. Skoro zarówno dźwięk, jak i światło są falami, to dlaczego dźwięk omija przegrodę, a światło – nie?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, kiedy fale uginają się na przeszkodach, czyli ulegają dyfrakcji.
- Nauczysz się doświadczalnie demonstrować dyfrakcję światła i fal na wodzie.
- Zrozumiesz, dlaczego pod mikroskopem optycznym nie można obserwować wirusów, a płyta Blu-ray pozwala uzyskać lepszą jakość obrazu niż DVD.

Ugięcie fal na wodzie

Badanie ugięcia fal rozpoczniemy od doświadczenia z falami na wodzie przechodzącymi przez szczelinę.

Doświadczenie 13.

Obserwacja zjawiska dyfrakcji fali na szczelinie

1. Przygotuj układ do badania fal na wodzie taki jak do doświadczenia 9. na s. 132 oraz dwa metalowe kątowniki albo inne podobne przedmioty.
2. Ustaw kątowniki w wodzie tak, aby powstała pomiędzy nimi wąska szczelina (zdjęcie A). Za pomocą linijki lub deseczki wytwórz falę płaską, która będzie padać na przegrodę utworzoną z kątowników.
3. Zmieniaj szerokość szczeliny. Zauważ, co się dzieje z falą po przejściu przez szczelinę.
4. Zaobserwuj, w jaki sposób zachowanie fali zależy od szerokości szczeliny.





Wnioski z doświadczenia

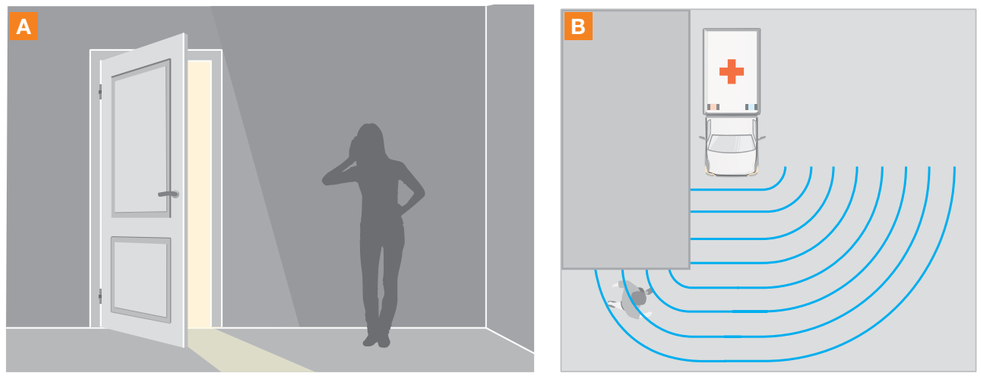
W doświadczeniu zaobserwowaliśmy, że zachowanie fal zależy od szerokości szczeliny:
- gdy szczelina jest szeroka – fale prawie nie zmieniają kierunku,
- gdy szczelina jest wąska – fale mocno się uginają.

Jak należy rozumieć określenia „szeroka” i „wąska”? Chodzi tu o porównanie z długością fali. Tak więc ta sama szczelina może być szeroka dla jednej fali, a wąska dla innej.

Ugięcie fali, zwane także **dyfrakcją**, zachodzi dla wszystkich rodzajów fal. Łatwo je zauważyć tylko wtedy, gdy szczelina nie jest dużo większa od długości fali.

Dyfrakcja dźwięku i światła

Drzwi, okna, przerwy między budynkami mają rozmiary podobne do długości fal dźwiękowych, ale znacznie większe od długości fal świetlnych. Fale dźwiękowe mają od kilku centymetrów do kilku metrów długości, a światło poniżej 0,001 mm. Dlatego właśnie dźwięk ulega dyfrakcji na takich szczelinach, natomiast ugięcie światła rzadko obserwujemy na co dzień (patrz rys. A).



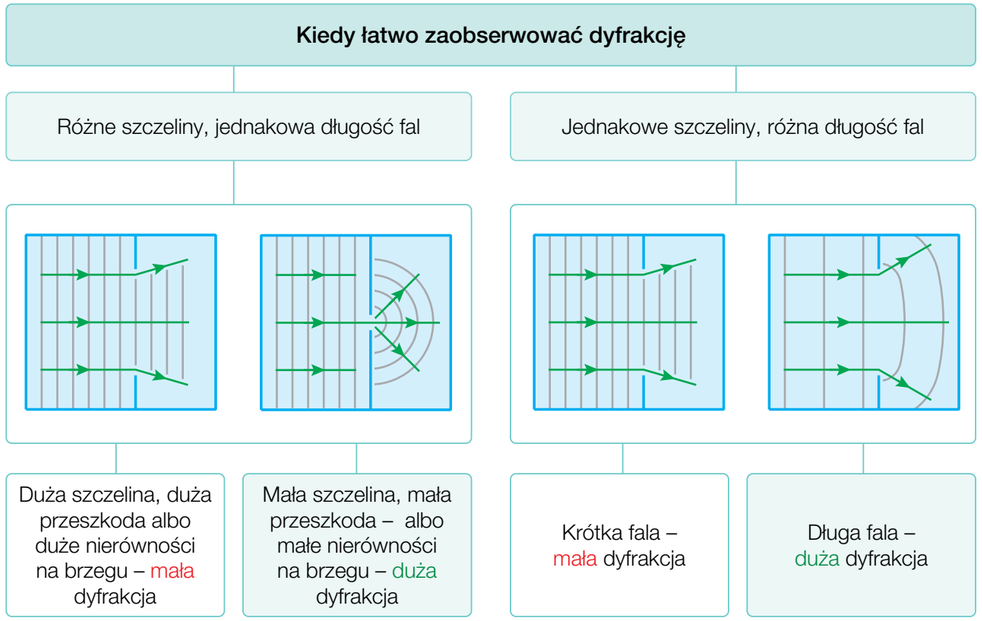
▲ Człowiek nie widzi, co dzieje się w sali, ale może to usłyszeć A. Ugięcie fal dźwiękowych na krawędzi budynku B

Ugięcie na przeszkodzie i na krawędzi przeszkody

Dyfrakcję fali możemy zaobserwować także na przeszkodzie. Dźwięk bez problemu omija słup, podczas gdy światło tego nie dokona i za słupem zostanie cień. Ostatnia możliwość to dyfrakcja na brzegu przeszkody, nawet dużej, byle krawędź tej przeszkody była równa. Określenie „równa” oznacza tutaj, że jej nierówności powinny być mniejsze od długości fali. Właśnie dlatego samochód znajdujący się za rogiem (patrz rys. B) możemy usłyszeć, ale nie oświetlą nas jego reflektory. Dla fali światła nawet milimetrowa nierówność krawędzi budynku jest duża, ale z punktu widzenia dźwięku taka nierówność nie ma znaczenia.

Dyfrakcję można obserwować także na niewielkiej przeszkodzie i na równej krawędzi przeszkody.

Warunki, w których dyfrakcja jest zauważalna, podsumowaliśmy na diagramie.



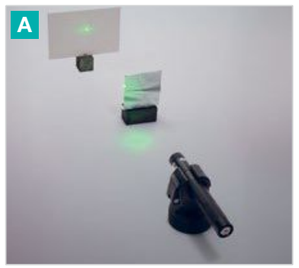
Obserwacja dyfrakcji światła

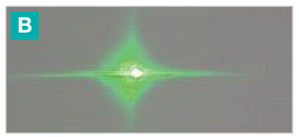
Właśnie dyfrakcję na krawędzi przeszkody najłatwiej zaobserwować w przypadku światła.

Doświadczenie 14.

Obserwacja zjawiska dyfrakcji światła

1. Przygotuj czerwony lub zielony wskaźnik laserowy, folię aluminiową i ekran (może to być jasna ściana).
2. Zagnij mocno folię aluminiową, aby uzyskać równą krawędź. Ustaw ją pionowo w odległości ok. 30 cm od ekranu, a wskaźnik w jednej linii z folią – w odległości ok. 60 cm od ekranu.
3. Skieruj światło wskaźnika na folię tak, aby tylko część jego wiązki padała na folię (zdjęcie A). Co obserwujesz na ekranie? Czy w całym obszarze zasłoniętym przez folię jest cień?

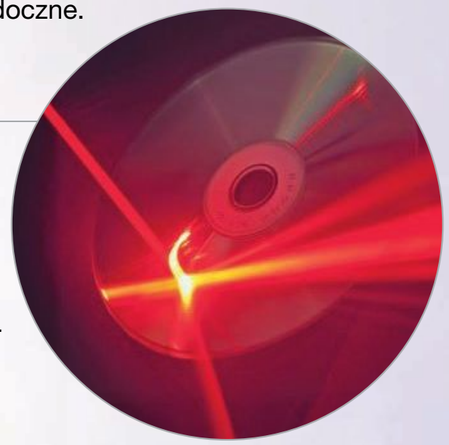




Kiedy plamka światła padała w części na folię, a w części na ekran, było widać dodatkową poziomą smugę światła na ekranie, i to zarówno po jednej, jak i po drugiej stronie plamki (patrz zdjęcie B). Dowodzi to, że światło ulega dyfrakcji.
Zauważ jednak, że aby zaobserwować to zjawisko, musieliśmy stworzyć specjalne warunki. Na ogół spotykamy zjawiska, w których ugięcie światła jest niewielkie. Zatem w większości zjawisk optycznych, z którymi mamy na co dzień do czynienia, dyfrakcja jest pomijalna. Możemy wtedy mówić, że światło rozchodzi się po liniach prostych.

Praktyczne znaczenie dyfrakcji

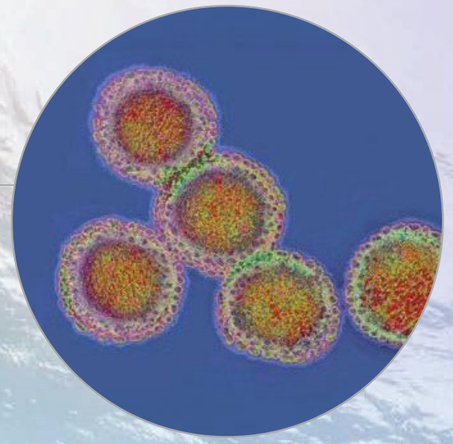
Dyfrakcja fal dźwiękowych pozwala nam słyszeć dźwięk nawet wtedy, gdy jego źródło jest dla nas niewidoczne. Często jednak dyfrakcja jest niepożądana.



Informacja na płytach CD i DVD jest kodowana za pomocą bardzo małych jasnych i ciemnych obszarów. Do jej odczytywania służy czerwony laser, dlatego te obszary muszą być większe niż długość fali czerwonego światła. W przeciwnym wypadku dyfrakcja światła powodowałaby rozmycie obrazu i urządzenie błędnie by go interpretowało. Na płytach Blu-ray obszary są mniejsze, ponieważ odczytujemy je niebieskim laserem, o mniejszej długości fali.



Reflektor odległego samochodu widzimy jako plamkę, której wielkość wynika z dyfrakcji, a nie z jego rozmiarów. Gdy samochód jest dostatecznie daleko, te plamki zlewają się. Podobnie dwie bliskie gwiazdy obserwowane przez teleskop zlewają się w jedną plamę.



Wirus jest mniejszy niż długość fali światła widzialnego, dlatego nie zobaczymy go pod mikroskopem optycznym. Zwiększanie powiększenia nic tu nie pomoże, najwyżej ujrzymy trochę większą rozmazaną plamę. To zdjęcie wykonano za pomocą mikroskopu elektronowego (kolory nie są naturalne).



Aby za pomocą echolokacji zlokalizować niewielkie obiekty, musimy używać krótkich fal – ultradźwięków. Robią to zarówno ludzie (w badaniach USG i echosondach), jak i zwierzęta, np. nietoperze i delfiny.

To najważniejsze

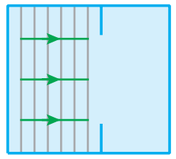
- **Dyfrakcja** to ugięcie fali na przeszkodzie, podczas przejścia przez szczelinę albo na krawędzi przeszkody.
- Najłatwiej ją zaobserwować wtedy, gdy przeszkoda, szczelina albo nierówności krawędzi przeszkody są niewielkie w stosunku do długości fali.
- Dyfrakcja ogranicza rozdzielczość przyrządów optycznych, np. uniemożliwia obserwację wirusów pod mikroskopem optycznym.

Pytania i zadania

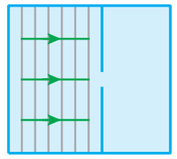
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Rysunek przedstawia falę rozchodzącą się na wodzie w naczyniu z przegrodą. Szarymi liniami zaznaczono grzbiety fal, a zielonymi – ich promienie. Przerysuj rysunek do zeszytu i zaznacz, jak będzie się rozchodzić fala za przeszkodą. W którym przypadku fala mocniej się ugnie?

a)



b)



2. Podkowiec mały, jeden z gatunków nietoperzy występujących w Polsce, do echolokacji używa ultradźwięków o częstotliwości do 110 kHz. Oblicz długość fali wytwarzanej przez podkowca i porównaj ją z wielkością owadów stanowiących jego pożywienie.



3. Radar wysyła fale o długości 3 cm. Odpowiedz, czy taka fala może posłużyć do wykrycia:

A. okrętu,

B. łebka od szpilki.

4. Pierwsze badania nad radarami prowadzono równocześnie w wielu krajach już przed drugą wojną światową. Budowane wtedy urządzenia wykorzystywały nadajniki podobne do używanych w radiofonii. Dopiero w czasie wojny Brytyjczycy wynaleźli magnetron – urządzenie wytwarzające mikrofale – i udostępnili go Amerykanom.

Dlaczego radar wykorzystujący mikrofale działa lepiej niż podobne urządzenie, w którym stosuje się dłuższe fale radiowe? Dlaczego było to tak ważne w czasie wojny?



26 Interferencja fal



Jak działają słuchawki aktywnie wyciszające dźwięk?

Cele lekcji:

- Poznasz zjawisko interferencji fal i warunki, w jakich ono zachodzi.
- Nauczysz się demonstrować doświadczalnie interferencję dźwięku i światła.
- Dowiesz się, kiedy interferencja powoduje wzmocnienie fali, a kiedy jej osłabienie.

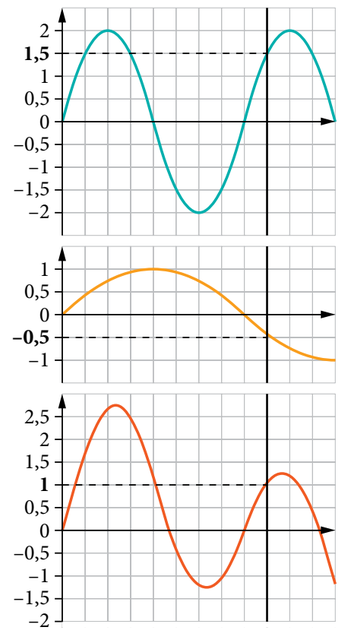
Nakładanie się fal

Często obserwujemy jednocześnie fale pochodzące z wielu źródeł. Takie fale biegną niezależnie od siebie, ale kiedy dochodzą do jednego punktu, nakładają się – odpowiadające im wychylenia się sumują (patrz rys.). Przez wychylenie rozumiemy tutaj zmianę odpowiedniej wielkości, np.:

- wysokości powierzchni wody w przypadku fal na wodzie,
- gęstości powietrza w przypadku dźwięku w powietrzu,
- pola elektrycznego dla fal elektromagnetycznych itd.

Przyjrzyj się rysunkowi obok:

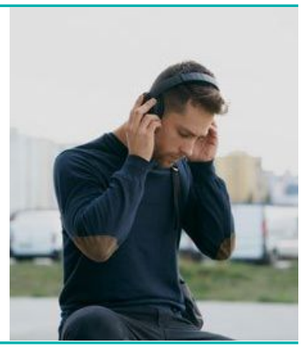
- gdyby do punktu oznaczonego czarną kreską dochodziła tylko pierwsza fala, wychylenie wynosiłoby 1,5 jednostki,
- gdyby do tego punktu docierała tylko druga fala, wynosiłoby −0,5 (czyli 0,5 jednostki w dół),
- skoro jednak docierają obie fale, widoczne łącznie jako jedna, bardziej skomplikowana fala, wychylenie wynosi 1,5 + (−0,5) = 1.



▲ Przykład nakładania się fal

A to ciekawe

Do redukcji hałasu zwykle używa się słuchawek częściowo pochłaniających fale dźwiękowe. Bardziej zaawansowane technicznie są słuchawki z aktywnym tłumieniem hałasu. Emitują one falę dźwiękową podobną do dochodzącej z zewnątrz, ale odwróconą. Kiedy z zewnątrz dochodzi grzbiet fali, w dźwięku emitowanym przez słuchawki wypada dolina i na odwrót. Dzięki zjawisku interferencji obie fale się wygaszają, a użytkownik słuchawek może cieszyć się muzyką bez hałasu w tle.



Interferencja

Szczególnie interesującym przypadkiem nakładania się fal jest interferencja.

Interferencja to nakładanie się fal wytwarzanych przez dwa źródła o jednakowej częstotliwości.

Zajmiemy się teraz po kolei interferencją dwóch ważnych rodzajów fal: dźwięku i światła.

Interferencja dźwięku

Interferencję fal dźwiękowych dość łatwo zademonstrować doświadczalnie. Wykonajmy w tym celu prosty eksperyment.

Doświadczenie 15.

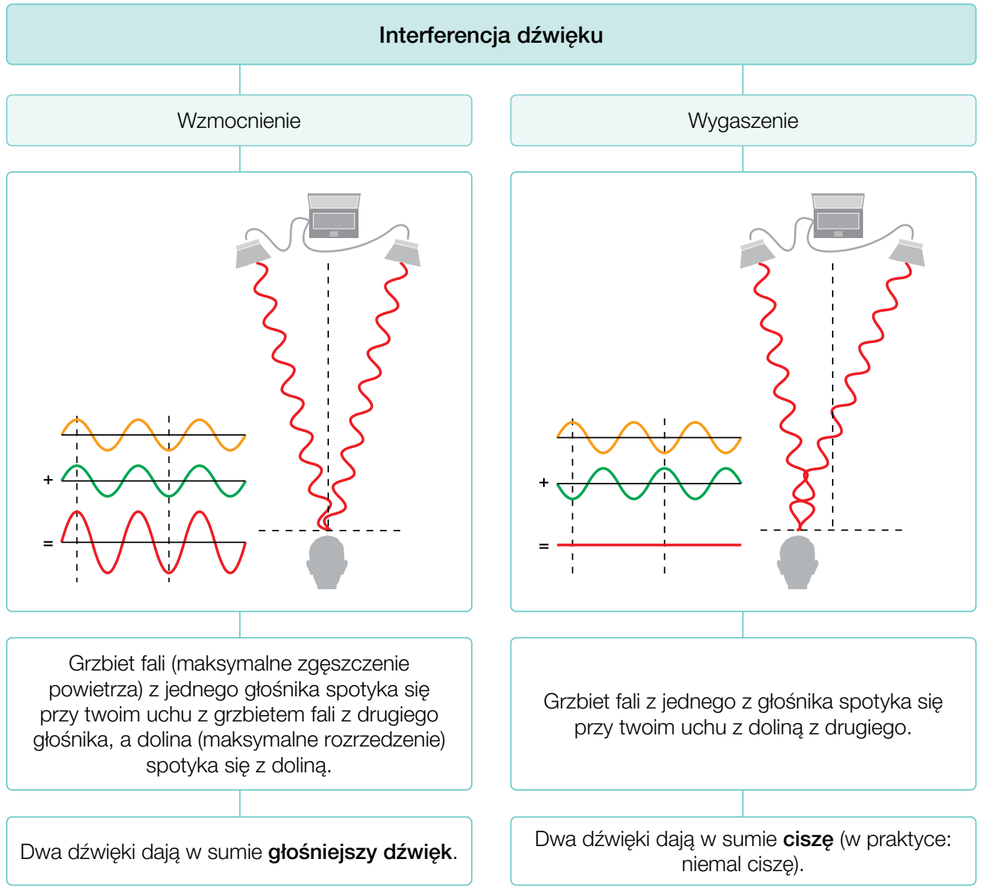
Badanie interferencji fal dźwiękowych

1. Przygotuj komputer z dwoma głośnikami. Znajdź w internecie generator czystych tonów (*pure tone generator*) i ustaw go na częstotliwość 680 Hz.
2. Ustaw na stolikach dwa krzesła, a na nich głośniki w odległości ok. 2 m od siebie. Włącz generator.
3. Powoli przesuwaj się po linii równoległej do ściany, przy której stoją głośniki. Zwróć uwagę, jak zmienia się głośność dźwięku.

   Uwaga. Jeśli w sali lekcyjnej macie dwa głośniki powieszone na ścianie i emitujące dźwięk podczas korzystania z rzutnika (patrz zdjęcie), możecie z nich skorzystać.



W naszym doświadczeniu w niektórych miejscach dźwięk był głośny, a w innych – bardzo cichy. Zwłaszcza ta druga obserwacja jest zaskakująca: dlaczego dwa dźwięki dają łącznie ciszę? Wyjaśnienie znajdziesz na diagramie.



Między tymi skrajnymi przypadkami są też sytuacje pośrednie, w których możemy usłyszeć dźwięk, ale cichszy niż jego maksymalna głośność.

Uwaga. Mówiliśmy o sytuacji, gdy w miejscu, w którym znajduje się obserwator, fale całkowicie się wygaszą i panować będzie cisza. Pomijaliśmy jednak zarówno wymiary źródeł dźwięku, jak i ucha obserwatora.
Ponieważ w rzeczywistości ani jedno, ani drugie nie jest punktem, w doświadczeniu 15. zawsze było słychać dźwięk, chociaż czasami bardzo słaby.

Interferencja dźwięku a codzienne obserwacje

Na co dzień nie obserwujemy interferencji dźwięku. Na przykład gdy dwie osoby grają tę samą melodię na dwóch gitarach, nie znajdziemy obszaru ciszy. Przyczyny są dwie.

- Nigdy się nie zdarza, aby dwie osoby uderzały w struny idealnie w tej samej chwili z dokładnością do tysięcznych części sekundy (a przecież częstotliwość dźwięku to zwykle kilkaset herców, czyli kilkaset drgań na sekundę).
- Miejsca wzmocnień i wygaszeń zależą od długości fali, a w dźwięku są obecne fale różnych długości. Inaczej było w doświadczeniu 15., kiedy głośniki emitowały czyste tony o jednej, ściśle określonej długości fali.

Interferencja światła

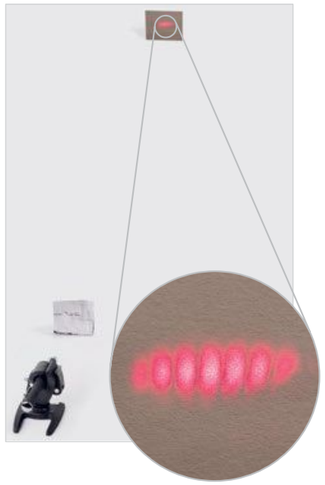
Przejdźmy teraz do drugiego rodzaju fal ważnych dla nas na co dzień, czyli do światła.

Doświadczenie 16.

Badanie interferencji światła

1. Przygotuj czerwony wskaźnik laserowy, żyletkę lub nożyk do tapet i kawałek folii aluminiowej.
2. Za pomocą żyletki lub nożyka wytnij ostrożnie w kawałku folii dwa równoległe nacięcia długości ok. 1–2 cm, oddalone od siebie o ok. 0,5 mm. Aby uzyskać równoległe nacięcia, użyj ekierki i linijki.
3. Ustaw folię pionowo na tle białej ściany lub białej kartki i skieruj na nacięcia strumień światła z lasera. Kartka powinna znajdować się kilka metrów od folii z nacięciami. Jaki obraz powstaje?

   Uwaga. Jeśli używasz słabego lasera, doświadczenie lepiej wykonać w częściowo zaciemnionym pomieszczeniu.



Wyniki doświadczenia są podobne jak w przypadku dźwięku. Tam obserwowaliśmy miejsca głośnie i ciche, tutaj – jasne i ciemne. Podobne jest także wyjaśnienie:

- Jasne prążki powstają tam, gdzie następują wzmocnienia fali – fale spotykają się grzbiet z grzbietem i dolina z doliną.
- Ciemne prążki powstają tam, gdzie są wygaszenia fali – dolina spotyka się z grzbietem.

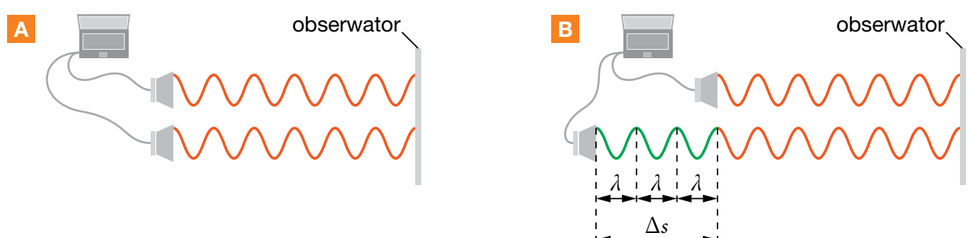
Doświadczenie podobne do naszego, choć z braku lasera trudniejsze technicznie do wykonania, po raz pierwszy przeprowadził Thomas Young w 1801 r. Stanowiło ono dowód falowej natury światła, w którą wcześniej wątpiło wielu fizyków.

Interferencja światła a codzienne obserwacje

Zjawiska wynikające z interferencji światła obserwujemy na co dzień, tylko nie każdy wie, jaka jest ich natura.
Powiemy o nich więcej na następnej lekcji.

Wzmocnienie fali a odległość do źródeł

Wiemy już, że fale wzmacniają się w miejscu, do którego jednocześnie dochodzą grzbiety fal z obu źródeł (a więc także jednocześnie dochodzą tam doliny). Jak jednak takie miejsca są położone? Dla uproszczenia narysujmy sytuację schematycznie tak, jakby fale rozchodziły się równolegle.

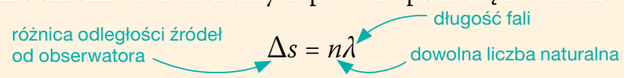


▲ Fale wzmacniają się wtedy, gdy różnica odległości od źródeł jest wielokrotnością długości fali

Są dwie możliwości:

- Odległość obu źródeł od obserwatora jest jednakowa (rys. A na poprzedniej stronie). Wtedy grzbiety wysłane równocześnie docierają do obserwatora w tej samej chwili.
- Różnica odległości źródeł od obserwatora jest całkowitą wielokrotnością długości fali (na rys. B są to 3 długości fali). Do obserwatora docierają równocześnie grzbiety z obu źródeł. Nie były wprawdzie wysłane równocześnie, ale to nie ma znaczenia – wszystkie grzbiety są jednakowe.

Warunek wzmocnienia fali możemy zapisać za pomocą równania:



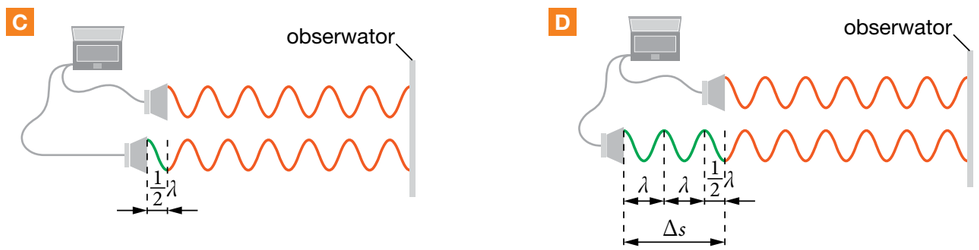
Przypadkowi, gdy głośniki są w jednakowej odległości, odpowiada $n = 0$, natomiast w sytuacji na rysunku B mamy $n = 3$.

Warunek wygaszenia fali

Analogicznie możemy zilustrować sytuację, w której fale się wygaszają. Na drodze równej połowie swojej długości fala akurat zdąży się odwrócić: zamiast grzbietu wypadnie dolina, a zamiast doliny – grzbiet (rys. C). Dodatkowo może przebyć jeszcze całkowitą wielokrotność długości fali (rys. D).
Tak więc całkowite wygaszenie nastąpi wtedy, gdy Δs będzie równe $0{,}5\lambda$ albo $1{,}5\lambda$, albo $2{,}5\lambda$ (tak właśnie jest na rysunku D poniżej) itd.

Warunek wygaszania fali możemy zapisać w postaci równania:

$$\Delta s = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$$



▲ Fale wygaszają się wtedy, gdy różnica odległości od źródeł jest równa wielokrotności długości fali i jeszcze połowie tej długości

A to ciekawe

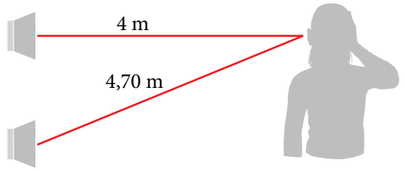
W kuchence mikrofalowej znajduje się jedno źródło mikrofal, ale oprócz fal biegnących bezpośrednio z niego są tam także fale odbite od ścianek. Dość często zdarza się, że te fale interferują i w miejscach wzmocnienia potrawa staje się gorąca, a w miejscach wygaszenia – zimna albo, co gorsza, surowa. Częściowym rozwiązaniem jest obrotowy talerz.



Przykład

Zastosowanie warunków wzmacniania i wygaszania fal

Dwa głośniki emitują jednakowe fale dźwiękowe o długości 20 cm. Co usłyszy obserwator w odległości 4 m od jednego głośnika oraz 4,70 m od drugiego?



Dane:
$\lambda = 20\ \text{cm} = 0{,}20\ \text{m}$
$s_1 = 4\ \text{m}$
$s_2 = 4{,}7\ \text{m}$

Szukane:
Wzmocnienie czy wyciszenie?

Rozwiązanie:
Różnica dróg przebywanych przez fale wynosi:

$$\Delta s = s_2 - s_1 = 4{,}70\ \text{m} - 4\ \text{m} = 0{,}70\ \text{m}$$

Musimy się przekonać, ile razy Δs jest większa od długości fali, więc wykonujemy dzielenie:

$$\frac{\Delta s}{\lambda} = \frac{0{,}70\ \text{m}}{0{,}2\ \text{m}} = 3{,}5$$

Skoro:

$$\Delta s = 3{,}5\lambda, \text{ czyli } \Delta s = \left(3 + \tfrac{1}{2}\right)\lambda$$

to w miejscu, gdzie stoi obserwator, nastąpi całkowite wygaszenie.

Odpowiedź: Obserwator nic nie usłyszy – fale się wygaszą.

To najważniejsze

- Jeśli do danego punktu w przestrzeni dociera więcej niż jedna fala, to fale te się nakładają. Wychylenie fali w danym punkcie jest sumą wychyleń wszystkich fal, które do niego docierają w tej samej chwili.
- Gdy nakładające się fale pochodzą ze źródeł o jednakowej częstotliwości, ich nakładanie się nazywamy **interferencją**.
- Interferencja zachodzi w przypadku wszystkich fal, m.in. dźwięku i światła.
- Gdy do danego miejsca docierają jednocześnie grzbiety (lub doliny) fal z obu źródeł, **fale ulegają wzmocnieniu**. Dzieje się tak, kiedy odległości od obserwatora do źródeł różnią się o wielokrotność długości fali: $\Delta s = n \cdot \lambda$.
- Gdy do danego miejsca grzbiet fali z jednego źródła dociera jednocześnie z doliną fali z drugiego źródła, **fale się wygaszają** (obserwujemy ciszę dla dźwięku lub ciemność dla światła). Dzieje się tak, kiedy odległości od obserwatora do źródeł różnią się o pół długości fali i ewentualnie jeszcze o całkowitą liczbę długości fali: $\Delta s = \left(n + \tfrac{1}{2}\right) \cdot \lambda$.

Z historii

Plamka Poissona, plamka Arago

Pamiętasz, jak James Clerk Maxwell przewidział istnienie nieznanych wcześniej fal elektromagnetycznych? Jeszcze bardziej niezwykły był przypadek potwierdzenia falowej teorii światła, ponieważ tym razem istnienie nowego zjawiska przewidział przeciwnik tej teorii. Był to francuski uczony Siméon Poisson (czyt. simeą płasą).

W 1818 r. Francuska Akademia Nauk ogłosiła konkurs na pracę naukową mającą wyjaśnić naturę światła. Wystartował w nim Augustin Fresnel (czyt. ogistę frenel) i przedstawił teorię, zgodnie z którą światło miało mieć naturę falową.

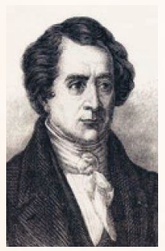
Poisson zasiadał w komisji konkursowej i jako przeciwnik teorii falowej natury światła chciał znaleźć błędy w teorii Fresnela. Stwierdził, że zgodnie z teorią falową po oświetleniu nieprzezroczystej kuli równoległą wiązką światła ujrzymy za nią jasną plamkę – efekt interferencji. A ponieważ zamiast plamki widzimy w tym miejscu najgłębszy cień, zatem światło nie może mieć natury falowej.

Wtedy inny Francuz, François Arago (czyt. fransua aragoo), który przewodniczył komisji konkursowej, postanowił rozstrzygnąć spór i wykonać doświadczenie. Okazało się, że plamka rzeczywiście powstaje. Obecnie ten eksperyment znacznie łatwiej przeprowadzić, gdy mamy do dyspozycji laser (patrz **doświadczenie domowe**). Arago później odkrył, że zjawisko, dziś znane pod nazwą plamka Poissona lub plamka Arago, było już obserwowane sto lat wcześniej. Opisali je Joseph Delisle i Giacomo Maraldi, choć wtedy nie zdołali go wyjaśnić.



▲ Idea eksperymentu Arago

François Arago



François Arago (1786–1853) był nie tylko matematykiem i fizykiem, lecz także lewicowym działaczem politycznym. W czasie rewolucji 1848 r. został ministrem rządu tymczasowego i wydał dekret znoszący niewolnictwo w koloniach francuskich. Dekretu nie cofnięto nawet po upadku rewolucji.

Siméon Poisson



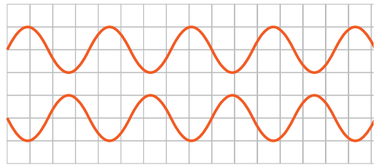
Siméon Poisson (1781–1840) zajmował się z sukcesami wszystkimi znanymi wówczas działami fizyki. Ponadto wprowadził do niej nowe metody matematyczne. W optyce był zwolennikiem cząsteczkowej teorii światła, jednak ostatecznie przyczynił się do zwycięstwa teorii falowej.

Pytania i zadania

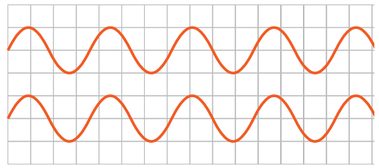
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Do pewnego miejsca w przestrzeni docierają fale z dwóch źródeł. Czy te fale się wzmacniają czy osłabiają?

a)



b)



2. P Dwa głośniki emitują jednakowe fale dźwiękowe o długości 40 cm. Oceń, co usłyszy osoba znajdująca się w odległości:

a) 230 cm od jednego z głośników i 350 cm od drugiego,

b) 120 cm od jednego z głośników i 180 cm od drugiego.

3. Dwa głośniki emitują jednakowe fale o długości λ. Obserwator znajduje się w odległości 6 m od jednego z głośników i 6,5 m od drugiego. Wykonaj schematyczny rysunek tej sytuacji. Określ, czy obserwator stwierdzi wzmocnienie czy wygaszenie fal. Rozważ następujące długości fali:

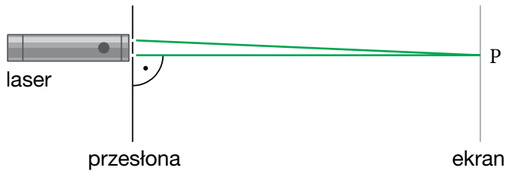
a) λ = 10 cm,

b) λ = 20 cm,

c) λ = 25 cm,

d) λ = 50 cm.

4.* Wiązka zielonego światła laserowego o długości 532 nm pada na przesłonę z dwiema szczelinami i tworzy obraz interferencyjny na ekranie odległym o 1 m. Odległość między szczelinami wynosi 0,7 mm. W jakim obszarze – jasnym czy ciemnym – znajdzie się punkt P położony dokładnie naprzeciwko jednej ze szczelin (patrz rysunek)?



Doświadczenie domowe

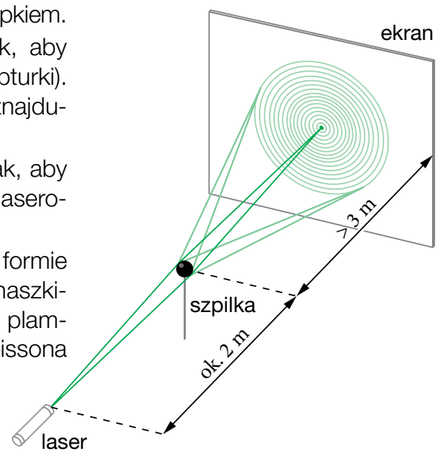
Plamka Poissona

1. Przygotuj zielony laser i szpilkę z dużym czarnym łepkiem.

2. Ustaw laser w poziomie i zablokuj włącznik tak, aby cały czas świecił (możesz użyć np. gumki recepturki). Światło powinno padać na ścianę lub inny ekran znajdujący się w odległości co najmniej 5 m od lasera.

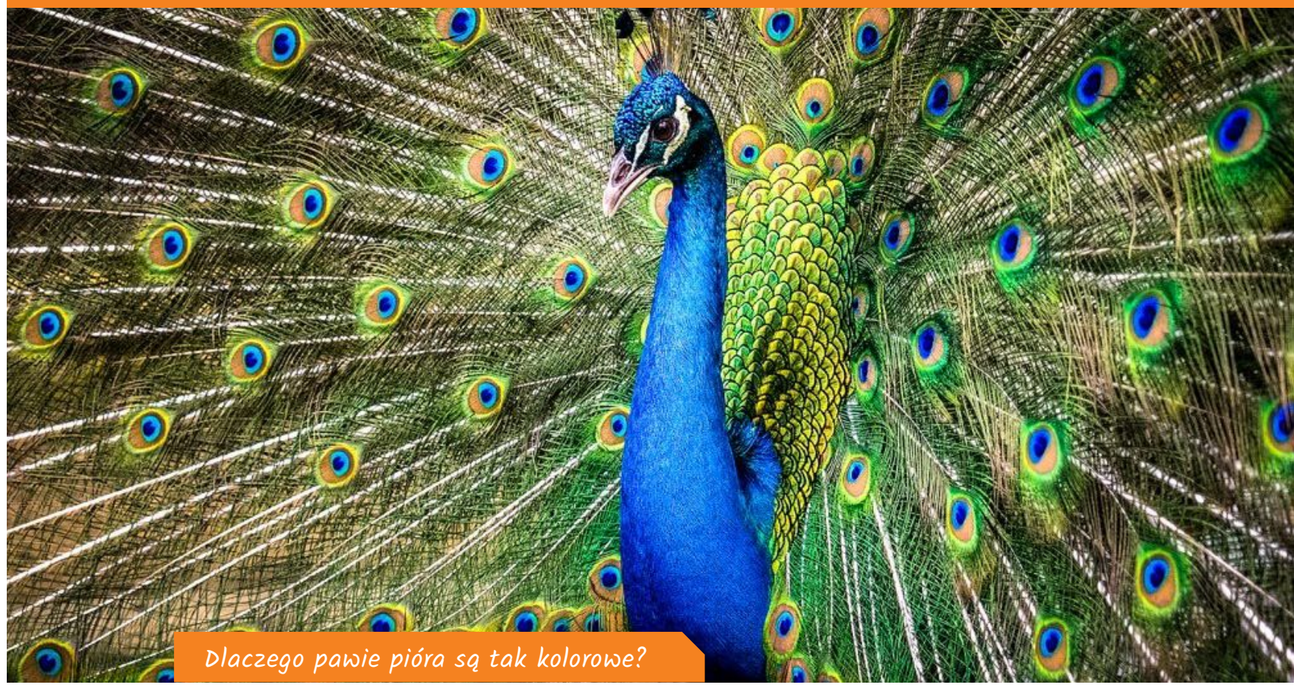
3. W odległości ok. 2 m od lasera umieść szpilkę tak, aby jej łepek znajdował się w środku wiązki światła laserowego.

4. Na ścianie zaobserwujesz obraz interferencyjny w formie koncentrycznych pierścieni. Przyjrzyj mu się i go naszkicuj lub zrób mu zdjęcie. Zwróć uwagę na jasną plamkę w samym środku obrazu. Jest to plamka Poissona (patrz „Z historii" na poprzedniej stronie).



F

27 Dyfrakcja i interferencja światła w przyrodzie



Cele lekcji:

- Nauczysz się dostrzegać zjawiska falowe w otaczającym świecie.
- Dowiesz się, w jaki sposób powstają barwy niektórych zwierząt.
- Poznasz kolejne zjawiska optyczne w atmosferze.

Obserwacja rozszczepienia światła dzięki interferencji

Zbadamy teraz inny mechanizm – oprócz znanego ci już zjawiska załamania – pozwalający na rozszczepienie światła na poszczególne barwy.

Doświadczenie 17.

Obserwacja interferencji światła na siatce dyfrakcyjnej

1. Przygotuj płytę CD, czerwony laser i laser o innej barwie oraz mocną latarkę.

2. Weź czerwony laser i skieruj jego światło na płytę od srebrzystej strony, tak aby światło odbite padało na białą powierzchnię (np. ścianę albo sufit). Uważaj, aby światło odbite nie wpadło do oczu ani tobie, ani innym osobom. Co obserwujesz?

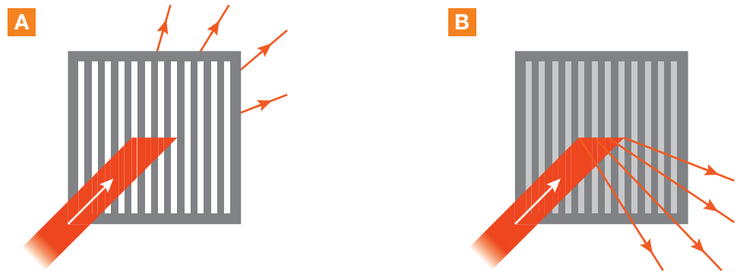
3. Powtórz punkt 2. doświadczenia, ale z drugim laserem. Co się zmieniło?

4. Powtórz punkt 2. doświadczenia, ale z latarką. Jak teraz wygląda obraz?



Siatka dyfrakcyjna

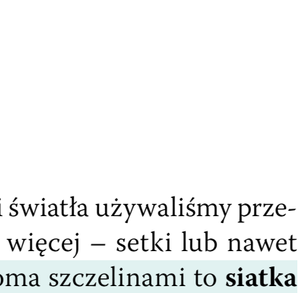
W doświadczeniu 16. na s. 170 do wytworzenia interferencji światła używaliśmy przesłony z dwiema szczelinami. Gdyby takich szczelin było więcej – setki lub nawet tysiące – efekt byłby znacznie silniejszy. Przesłona z wieloma szczelinami to **siatka dyfrakcyjna** (rys. A).
Istnieją także odbiciowe siatki dyfrakcyjne, w których zamiast szczelin przepuszczających światło znajdują się równoległe powierzchnie odbijające światło (rys. B). Funkcję takiej siatki może spełniać płyta CD. Kolejne ścieżki, na których nagrywa się dane (np. muzykę), tworzą układ ciemnych i srebrzystych prążków.



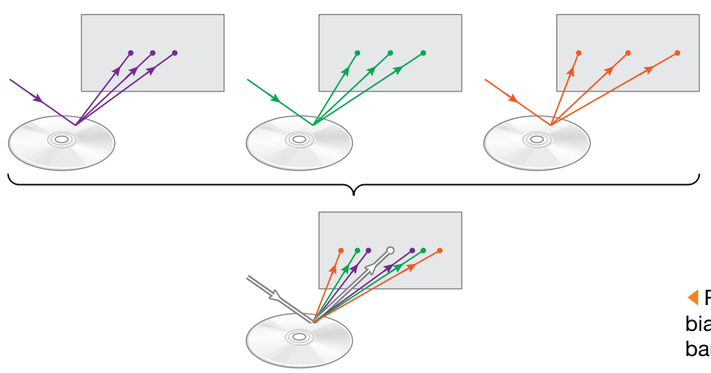
▲ Schemat budowy siatki dyfrakcyjnej: A ze szczelinami, B odbiciowej

Dlaczego interferencja powoduje rozszczepienie

W punktach 2. i 3. doświadczenia 17. obserwowaliśmy, że w zależności od barwy światła lasera prążki powstawały w różnych miejscach ekranu. To nic dziwnego – wiemy już, że ułożenie jasnych prążków interferencyjnych zależy od długości fali, czyli w przypadku światła – od jego barwy.
Światło białe jest złożone z fal o różnej długości (czyli o różnej barwie). Każda z tych fal ulega interferencji, a prążki o różnych barwach tworzą się w różnych miejscach ekranu. W ten sposób możemy rozdzielić światło białe na poszczególne barwy (patrz rys. poniżej).



▲ Płyta CD pod mikroskopem elektronowym w powiększeniu ok. 4000 razy

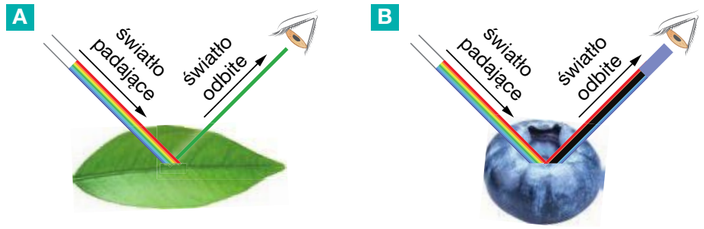


◀ Rozdzielenie światła białego na poszczególne barwy dzięki interferencji

Przypomnij sobie...

CO TO ZNACZY, ŻE CIAŁO MA SWÓJ KOLOR?

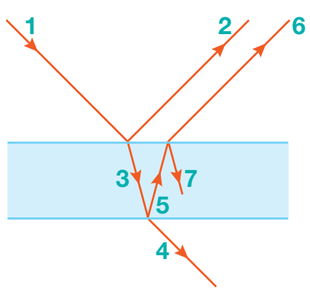
Wiele substancji odbija w różny sposób światło różnych barw. Na przykład chlorofil zawarty w liściach odbija tylko światło zielone – i tylko ono wpada do naszych oczu, gdy patrzymy na liść (rys. A).
Na ogół sytuacja jest nieco bardziej skomplikowana niż na rysunku A – substancja nie tylko odbija jedną barwę, a innych nie, ale odbija barwy w różnym stopniu, a my postrzegamy je łącznie jako barwę będącą ich mieszaniną (rys. B).



Jak się zaraz przekonasz, ten mechanizm powstawania barw nie jest jedynym występującym w przyrodzie.

Bańki mydlane

Również tęczowe barwy baniek mydlanych powstają dzięki interferencji. Aby wyjaśnić to zjawisko, prześledźmy bieg promienia światła padającego na powierzchnię bańki (patrz rys.).



Promień światła (1) pada na błonę bańki

Część światła odbija się (2), a część wnika do błony (3)

Część światła wychodzi z błony do powietrza we wnętrzu bańki (4), a część odbija się od granicy ośrodków (5)

Część przechodzi do powietrza (6), a część odbija się do wnętrza (7)



▲ Promień światła padający na powierzchnię bańki dzieli się na kilka części

Jeżeli błona jest bardzo cienka, to promienie 2. i 6. nie biegną obok siebie, ale częściowo się nakładają, a wobec tego interferują.
Pamiętajmy jednak, że światło białe składa się z fal o różnej barwie, czyli o różnej długości, a wynik interferencji (wzmocnienie lub wygaszanie) zależy od tej długości. Na przykład może się zdarzyć, że dla barwy niebieskiej grzbiet spotyka się z doliną i fale się wygaszają, podczas gdy dla żółtej grzbiet spotyka się z grzbietem i fale się wzmacniają.
W rezultacie w świetle początkowo białym jednych barw składowych jest więcej, a innych – mniej, dlatego światło widzimy jako kolorowe.
A ponieważ grubość błony bańki mydlanej jest różna w różnych punktach i zmienia się w czasie, bańka mieni się wszystkimi barwami tęczy.

Dyfrakcja i interferencja w przyrodzie

Znasz już zjawiska optyczne powstające dzięki załamaniu i rozszczepieniu światła. Okazuje się, że dyfrakcja i interferencja mogą być źródłem równie barwnych zjawisk w przyrodzie.

Wysoko w górach lub z samolotu możemy zaobserwować zjawisko zwane widmem Brockenu, czyli nasz cień, nierzadko z tęczową otoczką, zwaną glorią. Gloria powstaje na skutek dyfrakcji promieni słońca na kropelkach wody lub kryształkach lodu. Chmury pełnią funkcję ekranu, na którym można obserwować zjawisko.



Wieniec może powstać wokół księżyca lub słońca, gdy świecą przez cienką warstwę chmur.



Iryzacja chmur jest kolejnym zjawiskiem powstającym w podobny sposób, czyli dzięki dyfrakcji światła na drobnych kropelkach lub kryształkach lodu.



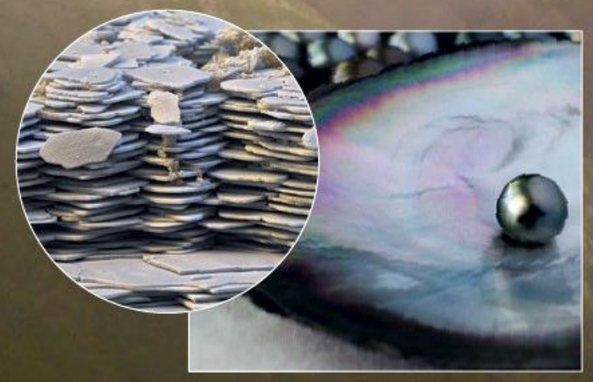
Mieniak stróżnik to gatunek motyla, którego możemy spotkać w Polsce w okresie od czerwca do końca lipca. W świetle słonecznym skrzydła samca mienią się niebieską poświatą, będącą efektem dyfrakcji i interferencji na strukturze skrzydeł.



Również pawie pióra w ogonie zawdzięczają kolory interferencji. Zawierają barwnik brązowy, ale widzimy odcienie zieleni, granatu czy błękitu, a obserwowane barwy zmieniają się w zależności od kąta padania światła i kąta obserwacji.



Mieniące się kolory można zaobserwować również na ciałach wielu owadów, np. chrząszcza o nazwie kruszczyca złotawka. Pancerzyk owada jest pokryty warstwową strukturą półprzezroczystych mikropłytek. Światło odbite od różnych warstw mikropłytek ulega interferencji.



Wielowarstwową budowę ma również macica perłowa – substancja występująca na wewnętrznej stronie muszli niektórych małży lub ślimaków.

To najważniejsze

- Barwy niektórych zwierząt nie wynikają z obecności barwnika, ale z interferencji światła na strukturach tworzących naturalną siatkę dyfrakcyjną.
- Barwy baniek mydlanych wynikają z interferencji światła odbitego od wewnętrznej i od zewnętrznej powierzchni błony.
- Światło słońca lub księżyca ulega dyfrakcji i interferencji przy przejściu przez drobne kropelki wody i odbiciu od takich kropelek. Dzięki temu obserwujemy niektóre zjawiska optyczne w atmosferze.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Dopasuj zakończenia zdań do ich początków. Przepisz zdania do zeszytu.

A. Siatka dyfrakcyjna pozwala rozłożyć światło na poszczególne barwy, ponieważ…

B. Tęcza powstaje, ponieważ…

C. Wieniec wokół słońca lub księżyca powstaje, ponieważ…

I. … światło ulega załamaniu przy przejściu z powietrza do wody.
II. … światło ulega dyfrakcji i interferencji przy przejściu przez drobne kropelki wody.
III. … położenie jasnych prążków interferencyjnych zależy od długości fali.

2. (i) Jak nazywa się zjawisko przedstawione na zdjęciu? Jak powstaje?



3. (i) Wymień kilka zwierząt, których barwy powstają dzięki interferencji światła. Spróbuj znaleźć także informacje o gatunkach, których nie wymieniliśmy w podręczniku.

4. (i) Które ze zdjęć przedstawia halo, a które wieniec wokół księżyca? Uzasadnij swoją odpowiedź. Przypomnij, które z tych zjawisk zachodzi dzięki załamaniu światła, a które – dzięki interferencji.

A



B



Doświadczenie domowe

Dyfrakcja i interferencja na tkaninie

1. Przygotuj gęstą tkaninę, na przykład gęstą firankę, zasłonę albo rozłożony parasol.

2. Popatrz jednym okiem przez tkaninę na świecącą żarówkę.
Uwaga. W pokoju nie powinno być innych źródeł światła.

3. Zobacz prążki świadczące o dyfrakcji i interferencji światła.
Uwaga. Czasami dyfrakcję można zaobserwować nawet bez żadnych przyrządów – na własnych rzęsach.



28 Polaryzacja światła

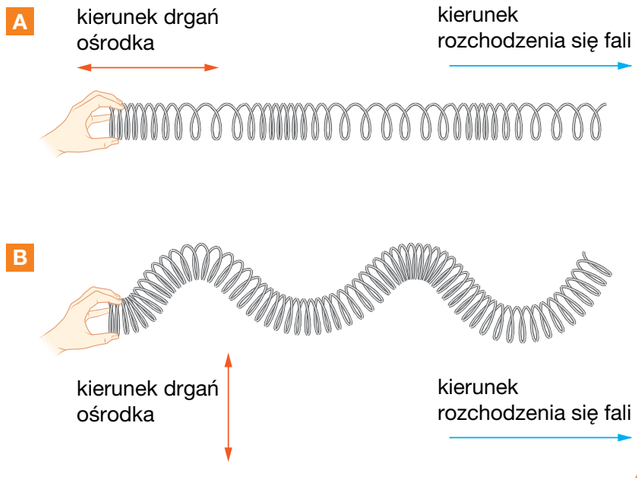


W jaki sposób pszczoły przekazują sobie informacje o miejscach obfitujących w nektar?

Cele lekcji:
- Zapoznasz się ze zjawiskiem polaryzacji światła.
- Zrozumiesz, jak działają okulary polaryzacyjne i wyświetlacze LCD.

Fale poprzeczne i podłużne – przypomnienie

Polaryzacji ulegają tylko fale poprzeczne. Dlatego zanim wyjaśnimy pojęcie polaryzacji światła, przypomnimy, jaka jest różnica między falami podłużnymi i poprzecznymi (patrz rys.). Zajrzyj też na s. 103, gdzie znajdziesz więcej na ten temat.



▲ Fala podłużna A i poprzeczna B

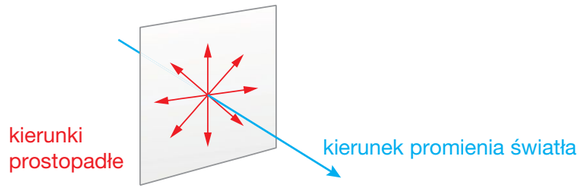
Fala elektromagnetyczna jako fala poprzeczna

Jak zapewne pamiętasz, fala elektromagnetyczna polega na drganiach pola elektrycznego i magnetycznego (patrz s. 118). Czy więc pojęcie fal podłużnych albo fal poprzecznych ma sens w przypadku fal elektromagnetycznych? Co prawda te fale nie polegają na drganiach ośrodka, jednak okazuje się, że jeśli w obszarze rozchodzenia się fali umieścimy ładunek, to zacznie on drgać **prostopadle** do kierunku rozchodzenia się fali.
Dlatego fale elektromagnetyczne uważamy za **fale poprzeczne**. Dzięki tej właściwości możemy rozważać polaryzację światła.

Polaryzacja światła

Kierunków prostopadłych do kierunku rozchodzenia się światła, czyli do jego promienia, jest nieskończenie wiele (patrz rys.). Dlatego drgania pola elektrycznego w fali elektromagnetycznej mogą zachodzić w wielu kierunkach.

Kierunek drgań pola elektrycznego w fali świetlnej nazywamy **polaryzacją** tej **fali**.

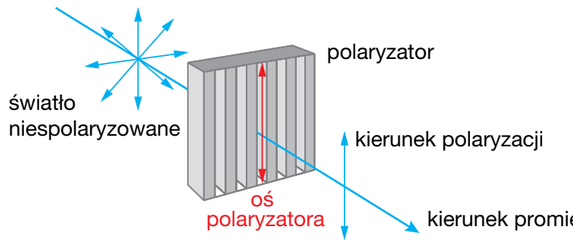


Istnieje nieskończenie wiele kierunków prostopadłych do promienia światła

Spójrz ponownie na rysunek B na poprzedniej stronie. Drgania sprężyny także mogą zachodzić w pionie, w poziomie albo w dowolnym z nieskończenie wielu kierunków ukośnych.

Polaryzatory

Na ogół światło jest mieszaniną fal o różnej polaryzacji – w takim przypadku mówimy, że jest ono niespolaryzowane.
Jednak istnieją substancje, które przepuszczają tylko światło o jednej polaryzacji. Z takiej substancji możemy wykonać **polaryzator**. Gdy przepuścimy przez niego światło niespolaryzowane, otrzymamy **światło spolaryzowane**, w którym drgania zachodzą tylko w jednym kierunku.



Schemat działania polaryzatora

Działanie tego przyrządu zbadamy w doświadczeniu, w którym światło spolaryzowane wytworzone przez jeden polaryzator będzie padać na drugi.

Doświadczenie obowiązkowe

Działanie polaryzatora

1. Przygotuj dwa polaryzatory. Możesz np. zdjąć folię polaryzacyjną z wyświetlacza zepsutego kalkulatora lub zegarka cyfrowego albo wziąć dwa szkiełka z okularów polaryzacyjnych.
2. Nałóż jeden polaryzator na drugi i popatrz przez nie w stronę jasnego nieba albo lampy. Obracaj jeden z polaryzatorów. Co widzisz?

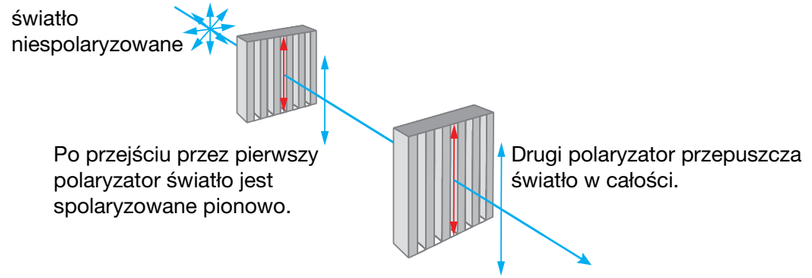


Analizę wyników tego doświadczenia przedstawiamy w ramce.

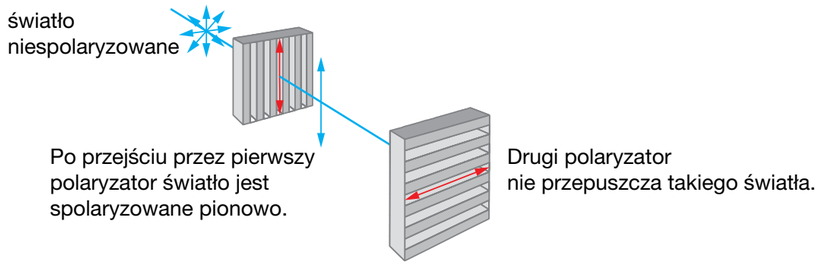
Działanie dwóch polaryzatorów

W zależności od wzajemnego ustawienia dwa polaryzatory mogą przepuszczać większą lub mniejszą część padającego światła.

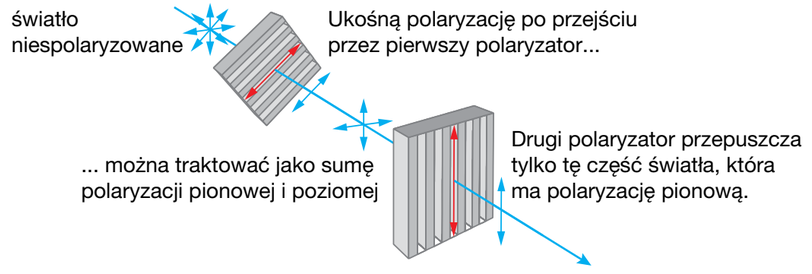
Polaryzatory ustawione jednakowo



Polaryzatory skrzyżowane



Polaryzatory ustawione pod innym kątem



Wyświetlacze LCD

Ekrany telefonów i laptopów oraz większości telewizorów to **wyświetlacze ciekłokrystaliczne**, w skrócie LCD (*liquid crystal display*). Taki wyświetlacz zawiera dwa skrzyżowane polaryzatory, między którymi umieszczone są ciekłe kryształy – po jednym na każdy piksel ekranu.

Ciekły kryształ skręca polaryzację światła, więc może ono przejść przez oba polaryzatory. Kiedy jednak do kryształu podłączymy napięcie, efekt skręcenia polaryzacji znika i piksel staje się czarny. W ten sposób, poprzez włączanie i wyłączanie napięcia dla poszczególnych pikseli, możemy sterować obrazem na ekranie.

W kolorowych ekranach jednemu pikselowi odpowiadają trzy ciekłe kryształy. Za każdym kryształem znajduje się filtr: czerwony, zielony lub niebieski. Zmieszane w różnych proporcjach światło tych barw widzimy jako różne kolory.



▲ Wyświetlacze ciekłokrystaliczne stosuje się m.in. w telefonach komórkowych

Polaryzacja przez odbicie

Zbadamy teraz inny sposób uzyskiwania światła spolaryzowanego.

Doświadczenie 18.

Obserwacja polaryzacji przez odbicie

1. Przygotuj lampkę biurową, polaryzator oraz gładką powierzchnię (może to być szyba, błyszczący blat biurka, panele podłogowe lub okładka tego podręcznika).
2. Skieruj światło lampki ukośnie na gładką powierzchnię.
3. Obracaj polaryzator i obserwuj światło odbite. Co obserwujesz?



Jak widzisz, światło odbite od płaskiej powierzchni jest częściowo spolaryzowane. Dlatego właśnie używamy okularów z polaryzatorami, które takie odbite światło osłabiają. Przydają się one narciarzom i osobom przebywającym np. nad jeziorem.

A to ciekawe

Światło błękitnego nieba jest częściowo spolaryzowane, co pozwala określić kierunek, z którego świeci słońce, nawet jeśli znajduje się ono za chmurami. Wykorzystują to pszczoły, które widzą polaryzację i za pomocą specjalnego tańca przekazują swoim towarzyszkom informację o tym, pod jakim kątem względem kierunku do słońca należy lecieć, aby znaleźć pożywienie.



To najważniejsze

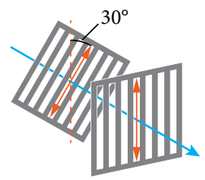
- Światło jest **falą poprzeczną**. Różne możliwe kierunki drgań to różne polaryzacje światła.
- **Polaryzator** przepuszcza tylko tę część światła, która ma odpowiednią polaryzację.
- Światło odbite od gładkiej powierzchni jest częściowo spolaryzowane.
- Polaryzację światła wykorzystujemy w ekranach LCD.

Pytania i zadania

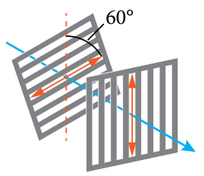
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Przez dwa złożone polaryzatory patrzymy na źródło światła. W którym przypadku dotrze do nas więcej światła?

A.



B.



2. Czy fala dźwiękowa może być spolaryzowana? Uzasadnij odpowiedź.

3. Okulary polaryzacyjne są dostosowane do sytuacji, w których większość oślepiających nas odblasków pochodzi od powierzchni poziomych, np. tafli wody albo śniegu. Jak należałoby je przerobić, aby chroniły przed odblaskami od powierzchni pionowych, np. szklanych ścian biurowców?



4. W ciekawostce na s. 135 piszemy, że w miejscach położonych na przedłużeniu nadawczej anteny radiowej sygnał jest bardzo słaby. Czy na podstawie wiadomości z tej lekcji umiesz wyjaśnić, dlaczego tak się dzieje?

Doświadczenie domowe

Polaryzacja wokół nas

1. Przygotuj polaryzator (na przykład okulary polaryzacyjne).
2. Popatrz przez polaryzator: na ekran laptopa, na żarówkę, na białą kartkę, na niebo w pobliżu słońca oraz dalej od słońca.

Uwaga. Nie patrz bezpośrednio na słońce! Grozi to utratą wzroku!

3. Obracaj polaryzator, aby stwierdzić, czy światło jest spolaryzowane.





29 Efekt Dopplera



Jak zmierzyć prędkość przepływu krwi wewnątrz organizmu pacjenta?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, dlaczego słyszana częstotliwość dźwięku zależy od prędkości źródła względem obserwatora.
- Poznasz zastosowania efektu Dopplera.
- Zrozumiesz, dlaczego słyszymy huk, kiedy w pobliżu przelatuje samolot ponaddźwiękowy.

Co to jest efekt Dopplera

Kiedy zbliża się do nas karetka pogotowia, jej dźwięk słyszymy jako wyższy, niż gdyby pojazd stał. Jeśli natomiast karetka się oddala, to dźwięk słyszymy jako niższy. To zjawisko nazywamy efektem Dopplera.



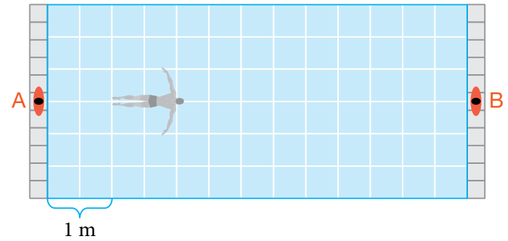
Efekt Dopplera, kiedy porusza się źródło dźwięku

Efekt Dopplera zachodzi dla wszystkich rodzajów fal. Jego powstawanie wyjaśnimy na przykładzie fal na wodzie (patrz ramka na sąsiedniej stronie).

Efekt Dopplera dla fal na wodzie

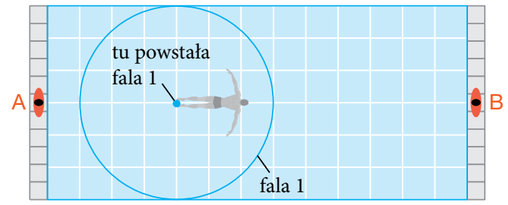
Pływak uderza ramionami w wodę co 1 s, więc wytwarza falę o częstotliwości 1 Hz. Czy stojąc na brzegu, będziesz obserwować taką samą częstotliwość fal? Spójrz na kolejne rysunki. Przedstawiają one sytuację co 1 s. Dla uproszczenia będziemy rysowali jedną kolistą falę powstającą wokół głowy pływaka.

Pływak po raz pierwszy uderza ramionami w wodę. Powstaje fala 1



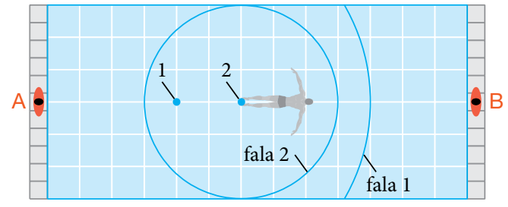
Pływak zaczyna oddalać się od ratownika A i zbliżać do ratownika B

W ciągu 1 s fala przebyła 1,5 m, ale pływak w tym czasie przebył 1 m



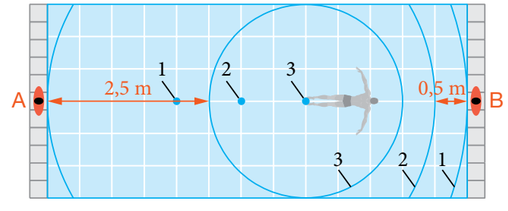
Fala wyprzedziła pływaka o 0,5 m

Fala 1 dotarła do ratownika A już wcześniej, fala 2 się do niego zbliża



Do ratownika B nie dotarła jeszcze nawet fala 1

Ratownik A widzi, że odległość między grzbietami fal to 2,5 m



Ratownik B widzi, że odległość między grzbietami fal to 0,5 m

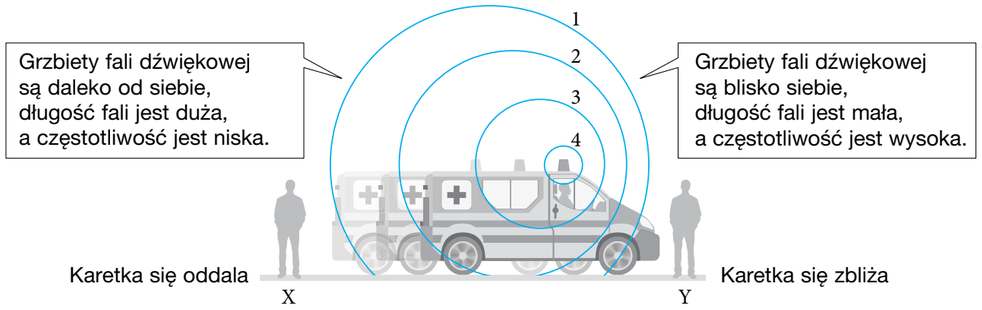
Prędkość fali jest taka sama dla obu ratowników i wynosi 1,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

- Do ratownika A fale dochodzą co $T_A = \frac{2{,}5\ \text{m}}{1{,}5\ \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1{,}67$ s, a więc ich częstotliwość to $f_A = \frac{1}{T_A} = 0{,}6$ Hz.
- Do ratownika B fale dochodzą co $T_B = \frac{0{,}5\ \text{m}}{1{,}5\ \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0{,}33$ s, a więc ich częstotliwość to $f_B = \frac{1}{T_B} = 3$ Hz.

Pływak natomiast stwierdzi, że częstotliwość fali wynosi $f = 1$ Hz.

Efekt Dopplera dla dźwięku

W przypadku fal dźwiękowych sytuacja jest podobna jak dla fal na wodzie. Jak wspomnieliśmy na początku lekcji, dźwięk jadącej karetki pogotowia słyszymy inaczej w zależności od tego, czy pojazd się do nas zbliża czy od nas oddala (patrz rys. i diagram poniżej).

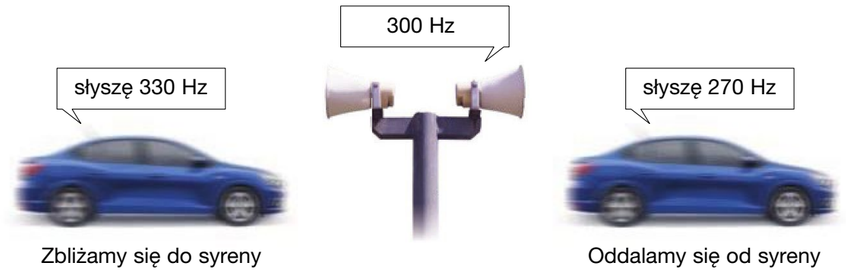


▲ Efekt Dopplera dla dźwięku dla dwóch obserwatorów



Ruchomy obserwator

Rozważaliśmy dotąd przypadek, gdy porusza się źródło fali. Z efektem Dopplera mamy do czynienia także wtedy, gdy porusza się obserwator.

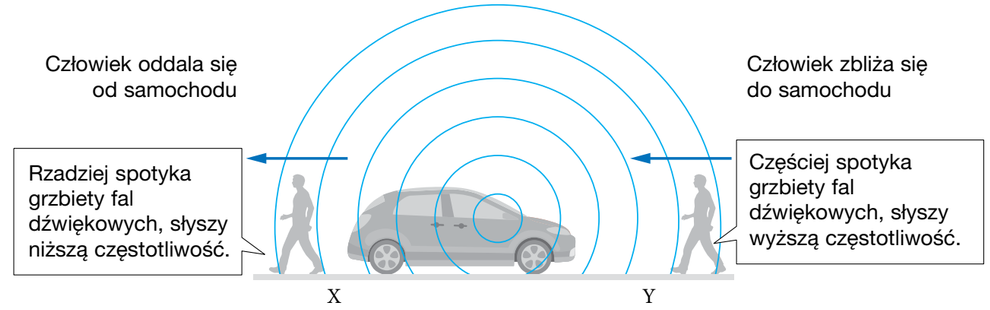


▲ Efekt Dopplera, kiedy porusza się obserwator

Podsumujmy

> Zmianę odbieranej częstotliwości fali na skutek ruchu źródła fali lub obserwatora nazywamy **efektem Dopplera.**

Na rysunku poniżej widzisz zaparkowany samochód z włączonym klaksonem oraz dwóch obserwatorów, X i Y, poruszających się w kierunku wskazanym przez strzałki. Obserwator X oddala się od samochodu, jakby uciekał przed kolejnymi grzbietami fali dźwiękowej, więc docierają one do niego rzadziej, niż gdyby spoczywał. Z kolei obserwator Y zbliża się do pojazdu, jakby wychodził naprzeciw kolejnym grzbietom fali.



▲ Efekt Dopplera dla ruchomego obserwatora

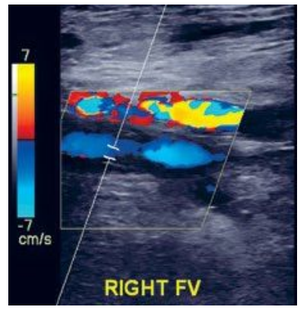
Analogiczne zjawisko zachodzi dla fal na wodzie. Kiedy łódź porusza się zgodnie z kierunkiem ruchu fal, spotyka je rzadziej niż wtedy, gdy wypływa im naprzeciw.

Efekt Dopplera dla fal elektromagnetycznych

Z efektem Dopplera mamy również do czynienia w przypadku fal elektromagnetycznych. Należy do nich światło, którego częstotliwość odbieramy jako barwę. To oznacza, że gdy zbliżamy się do źródła światła, obserwujemy nieco inną barwę, niż gdy spoczywamy względem źródła, a jeszcze inną – gdy się od niego oddalamy.
Aby zobaczyć taki efekt gołym okiem, musielibyśmy poruszać się z prędkością milionów kilometrów na godzinę. Nawet prędkość rakiet kosmicznych jest w tym przypadku tysiące razy za mała. Okazuje się jednak, że właśnie ten efekt pozwolił odkryć ruch galaktyk we Wszechświecie.

Zastosowania efektu Dopplera

Większość zastosowań efektu Dopplera jest związana z pomiarem prędkości. Tak właśnie działa ultrasonograf dopplerowski. Wykorzystuje się w nim falę ultradźwiękową, a poruszającym się obiektem jest krew. Dzięki pomiarowi jej prędkości da się wykryć nawet niewielkie zwężenia naczyń krwionośnych, ponieważ krew, która przeciska się przez takie miejsce, porusza się szybciej. W ten sposób można w porę zapobiec na przykład zawałowi serca albo udarowi mózgu. Badanie dopplerowskie stosuje się także do wykrywania nowotworów, ponieważ wewnątrz guza przepływ krwi jest inny niż w otaczającej tkance.



▲ Obraz z badania dopplerowskiego USG. Kolory oznaczają prędkość przepływu krwi



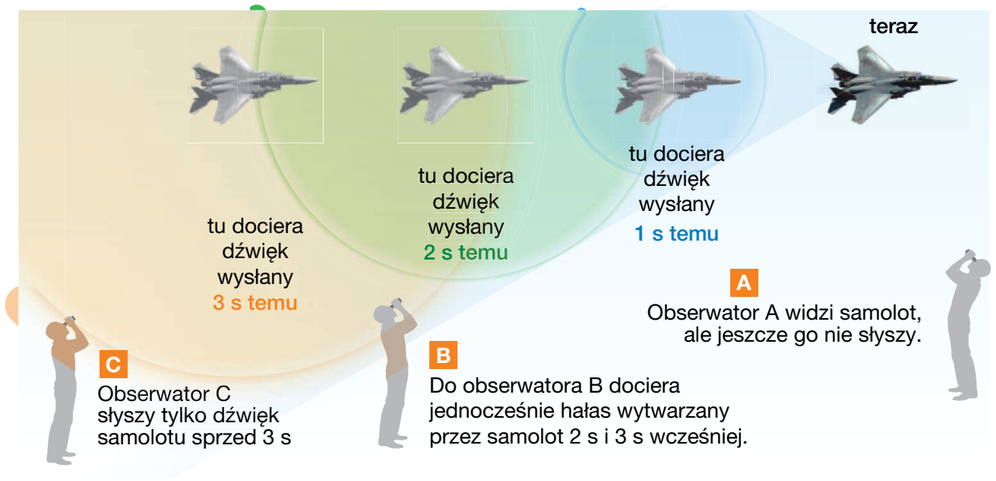
▲ Podczas radarowego pomiaru prędkości występuje dwukrotne zwiększenie częstotliwości. Na podstawie różnicy częstotliwości urządzenie oblicza prędkość samochodu

Pomiar prędkości przez policyjny radar jest podobny do badania dopplerowskiego. Kiedy fala elektromagnetyczna wysyłana przez radar odbija się od karoserii nadjeżdżającego samochodu i wraca do tego urządzenia, jej częstotliwość jest wyższa niż nadawana (patrz zdjęcie).

Ruch ponaddźwiękowy

Zanim przejdziemy do omawiania ruchu ponaddźwiękowego, przypomnijmy, że kiedy obserwujemy samolot pasażerski, widzimy go praktycznie w tym miejscu, gdzie rzeczywiście się w danej chwili znajduje, ponieważ światło rozchodzi się bardzo szybko. Jednak dźwięk przemieszcza się znacznie wolniej, dlatego hałas słyszymy z miejsca, w którym samolot znajdował się kilkadziesiąt sekund wcześniej.

Inaczej jest w przypadku myśliwca zbliżającego się z prędkością ponaddźwiękową (patrz rys.). Początkowo widzisz samolot, ale go nie słyszysz, ponieważ dźwięk nie zdążył jeszcze do ciebie dotrzeć (tak właśnie dzieje się dla obserwatora A). W pewnej chwili dolatuje do ciebie cały zaległy hałas emitowany przez maszynę w dłuższym czasie. Odbierasz go jako wielki huk – **falę uderzeniową** (na rysunku w tej sytuacji jest obserwator B). Później słyszysz już zwyczajny hałas samolotu (jak obserwator C).



▲ Powstawanie fali uderzeniowej

Z historii

Doświadczenie z efektem Dopplera

Christian Doppler nie obserwował doświadczalnie efektu nazwanego później jego imieniem. Przewidział go jedynie na drodze teoretycznej, kiedy za jego pomocą próbował wyjaśnić różnice w barwach gwiazd.

Efekt Dopplera dla dźwięku potwierdził w 1845 r. holenderski uczony Christophorus Buys-Ballot (czyt. kristofores bajs ba**lot**). Ruchome źródło dźwięku stanowił trębacz w otwartym wagonie kolejowym, a częstotliwość dźwięku oceniali za pomocą własnego słuchu muzycy stojący przy torach na kolejnych stacjach. Później role się zamieniły – muzyk w pociągu oceniał wysokość dźwięku granego przez trębacza na stacji.

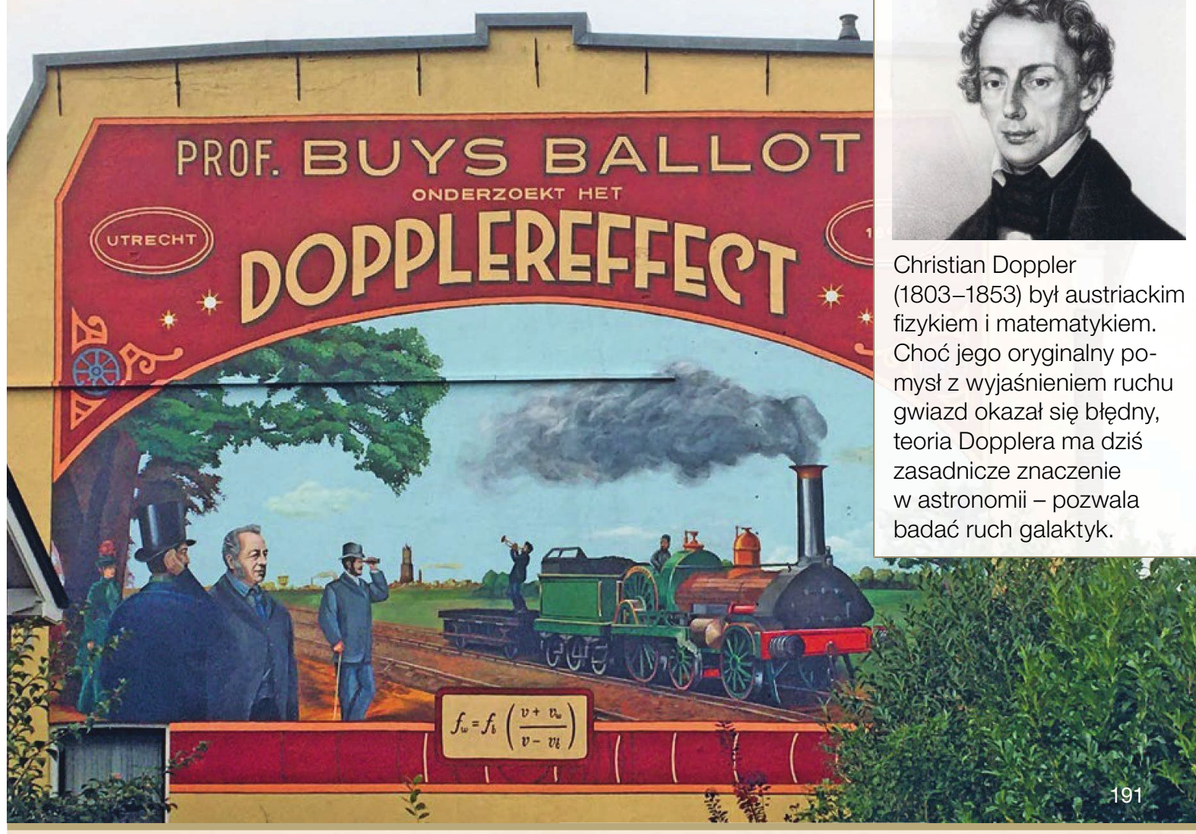
Przeprowadzenie doświadczenia było trudne. Aby różnica wysokości dźwięku była zauważalna dla muzyków, pociąg musiał jechać szybko, a wtedy bardziej hałasował i jego przejazd przez stację trwał krócej. Wyniki okazały się jednak – w granicach niepewności – zgodne z przewidywaniami.

Christophorus Buys-Ballot



Christophorus Buys-Ballot (1817–1890) zajmował się przede wszystkim meteorologią. Do dziś jedno z praw opisujących kierunek wiatru nazywane jest jego imieniem.

▼ Mural na budynku w Utrechcie, upamiętniający eksperyment przeprowadzony przez Buys-Ballota



Christian Doppler



Christian Doppler (1803–1853) był austriackim fizykiem i matematykiem. Choć jego oryginalny pomysł z wyjaśnieniem ruchu gwiazd okazał się błędny, teoria Dopplera ma dziś zasadnicze znaczenie w astronomii – pozwala badać ruch galaktyk.

Fala uderzeniowa powstaje przez cały czas ruchu z prędkością ponaddźwiękową. Słychać ją przez cały czas, tylko nie przez cały czas z tego samego miejsca. Gdyby wzdłuż trasy samolotu stał rząd ludzi, przez cały czas ktoś z nich słyszałby huk fali uderzeniowej, tyle że nie byłaby to stale ta sama osoba.

To najważniejsze

- Gdy źródło dźwięku zbliża się do obserwatora (albo obserwator do źródła), słyszy on dźwięk o wyższej częstotliwości.
- Jeśli źródło dźwięku oddala się od obserwatora (albo obserwator od źródła), słyszy on dźwięk o niższej częstotliwości.
- Analogiczne zjawisko zachodzi dla innych rodzajów fal.
- Efekt Dopplera wykorzystujemy m.in. do pomiaru prędkości samochodów za pomocą radaru oraz do pomiaru prędkości przepływu krwi (badanie dopplerowskie).

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Muzyk o słuchu absolutnym został porwany i jest przewożony w zamkniętej furgonetce. W pewnym momencie słyszy dzwony pobliskiego kościoła, jednak o pół tonu wyższe niż zwykle. Czy na tej podstawie muzyk może wnioskować o kierunku jazdy furgonetki: w stronę kościoła lub w przeciwną?

2. Dróżnik twierdzi, że pociągi z Warszawy do Pruszkowa jeżdżą co 20 minut. Maszynista pociągu z Pruszkowa do Warszawy twierdzi, że spotyka je co 10 minut. Czy to możliwe, że obaj mają rację? Jaki związek z tematem lekcji ma sytuacja opisana w zadaniu?

3.* Pływak porusza się z prędkością 1 $\frac{m}{s}$ i co 2 s wytwarza na wodzie falę poruszającą się z prędkością 2 $\frac{m}{s}$. Jaka jest częstotliwość fali z punktu widzenia:

a) pływaka,

b) osoby, do której pływak się zbliża,

c) osoby, od której pływak się oddala?

Doświadczenie domowe

Obserwacja efektu Dopplera za pomocą smartfona

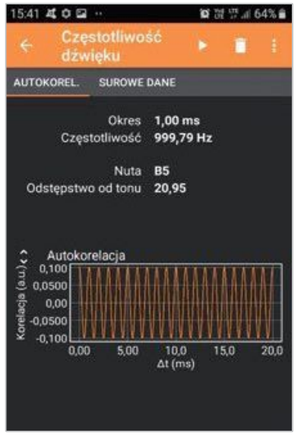
1. Przygotuj telefon z aplikacją Phyphox oraz źródło dźwięku o stałej częstotliwości (komputer z włączonym generatorem tonów albo drugi telefon).

2. Ustaw częstotliwość źródła dźwięków na 1000 Hz.

3. W aplikacji Phyphox włącz opcję „Częstotliwość dźwięku".

4. Przytrzymaj telefon przez chwilę bez ruchu blisko źródła dźwięku, następne oddal go szybkim ruchem, przez chwilę potrzymaj nieruchomo i przybliż szybkim ruchem do źródła dźwięku. Jeśli jako źródła dźwięku używasz drugiego telefonu, wygodniej będzie poruszać źródłem.

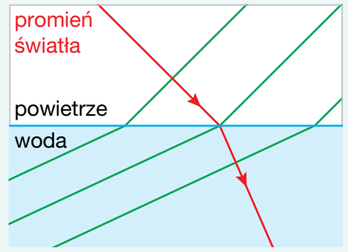
5. Obserwuj, jak zmieniają się wyniki pomiaru podczas ruchu. Spróbuj za ich pomocą oszacować prędkość ruchu telefonu. Możesz w tym celu skorzystać ze sposobu opisanego w zadaniu 3. powyżej.



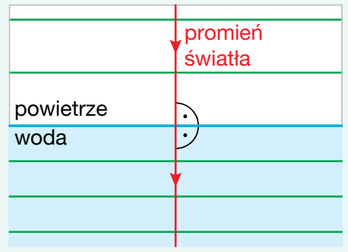
POWTÓRZENIE Zjawiska falowe

- W zależności od kształtu powierzchni falowych wyróżniamy **fale płaskie** i **koliste** na płaszczyźnie (np. na powierzchni wody) oraz **fale płaskie** i **kuliste** w przestrzeni.
- **Prawo odbicia:** Kąt odbicia jest równy kątowi padania. Oba te kąty leżą w jednej płaszczyźnie.
- Gdy fala odbija się od nieregularnej powierzchni, ulega **rozproszeniu** – jej promienie odbijają się w różne strony.
  - Fala ulega rozproszeniu także na niejednorodnościach ośrodka.
  - Dzięki rozproszeniu światła w atmosferze niebo w dzień nie jest czarne. Na Księżycu, gdzie nie ma atmosfery, niebo jest czarne nawet w dzień.
  - Kolor nieba jest niebieski, ponieważ krótsze fale zostają mocniej rozproszone niż dłuższe fale.
  - O zachodzie słońca światło przebywa w atmosferze dłuższą drogę niż w południe, dlatego zjawisko rozpraszania jest silniejsze i zachodzące słońce jest czerwone.
- Jeśli fala przechodzi do ośrodka, w którym rozchodzi się z inną prędkością, nie zmienia się częstotliwość fali, więc zmianie ulega jej długość. Aby grzbiety fali nie zostały rozerwane, zmienia ona kierunek, czyli **załamuje się** (rys. A).
  - Załamanie nie następuje w przypadku promienia padającego prostopadle na granicę ośrodków (rys. B).
  - Gdy fala pada na granicę ośrodków, tylko część fali przechodzi do drugiego ośrodka, a część się odbija. Dlatego możemy przeglądać się w wodzie.

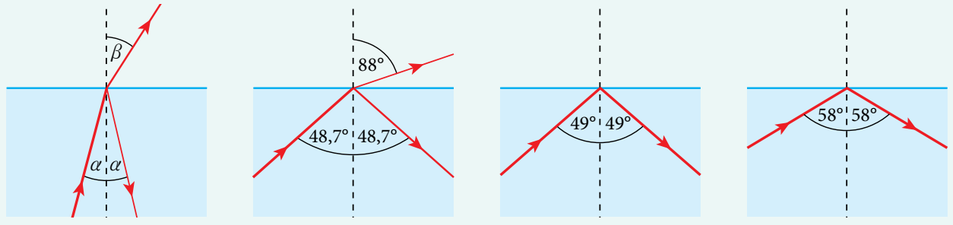
A



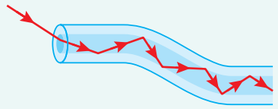
B



- Jeśli fala pada na granicę ośrodków **od strony ośrodka, w którym rozchodzi się wolniej**, to przy kątach zbliżających się do pewnego kąta zwanego kątem granicznym coraz mniejsza jej część przechodzi do drugiego ośrodka. Dla kątów równych kątowi granicznemu i większych od niego fala wcale nie przechodzi do drugiego ośrodka, ale cała się odbija. Jest to **całkowite wewnętrzne odbicie**.



- Całkowite wewnętrzne odbicie wykorzystujemy w praktyce w **światłowodach**, za pomocą których przesyłamy informacje.



- **Dyfrakcja** to ugięcie fali na przeszkodzie, podczas przejścia przez szczelinę albo na krawędzi przeszkody.

Dyfrakcja zachodzi najsilniej na

- szczelinie o wielkości zbliżonej do lub mniejszej od
- przeszkodzie o wielkości zbliżonej do
- krawędzi, której nierówności mają wielkość nieprzekraczającą

długości fali.

- **Interferencja fal** polega na nakładaniu się fal wytwarzanych przez dwa źródła o jednakowej częstotliwości.

Wzmocnienie:

$$\Delta s = n \cdot \lambda$$

Wygaszenie:

$$\Delta s = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$$

gdzie: Δs – różnica odległości od obserwatora do źródeł fali, n – dowolna liczba naturalna, λ – długość fali.

Zjawiska optyczne wokół nas

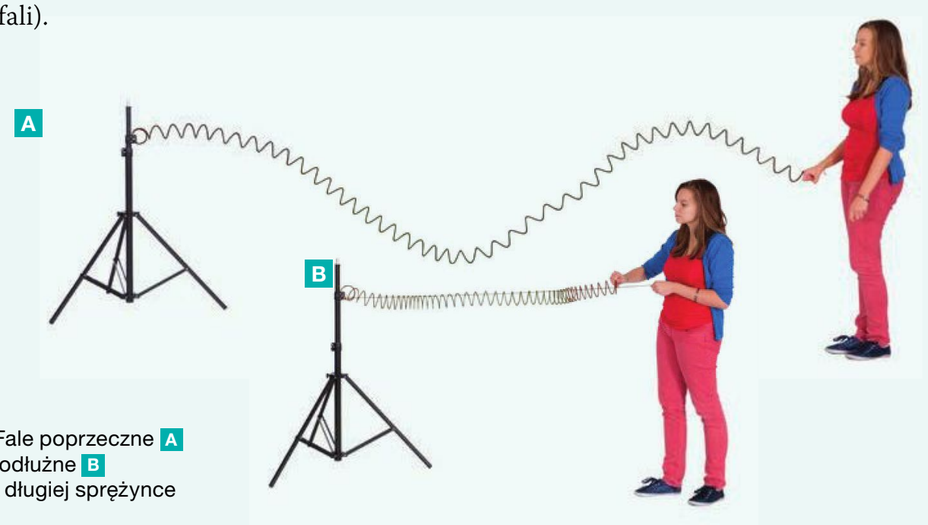
Powstające dzięki załamaniu światła

- złudzenia polegające na pozornym złamaniu przedmiotu częściowo zanurzonego w wodzie
- tęcza (rozszczepienie światła w kroplach wody)
- halo (rozszczepienie światła w kryształkach lodu)

Powstające dzięki dyfrakcji i interferencji

- barwy strukturalne (np. pióra pawia)
- barwy cienkich warstw (np. baniek mydlanych)
- wieniec wokół słońca lub księżyca
- iryzacja chmury
- gloria wokół widma Brockenu

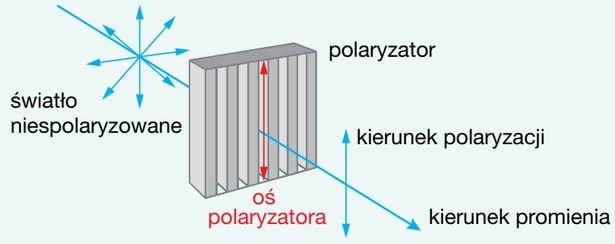
- Fale mechaniczne mogą być **podłużne** (drgania równoległe do kierunku rozchodzenia się fali) lub **poprzeczne** (drgania prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali).



▲ Fale poprzeczne A i podłużne B na długiej sprężynce

- **Dźwięk** to przykład fali podłużnej.
- **Fale elektromagnetyczne** (w tym światło) to fale poprzeczne.

- **Światło spolaryzowane** to takie, w którym drgania odbywają się w jednym kierunku spośród wszystkich kierunków prostopadłych do promienia. Polaryzacja światła jest możliwa dlatego, że światło jest falą poprzeczną.



- Światło ulega polaryzacji podczas przejścia przez niektóre substancje (polaryzatory) oraz podczas odbicia od gładkich powierzchni.
- Polaryzację światła wykorzystujemy m.in. w ekranach LCD.

- **Efekt Dopplera**
  - Ruch źródła fali dźwiękowej lub obserwatora powoduje, że słyszy on dźwięk o innej wysokości niż emitowana przez źródło.
  - Efekt Dopplera zachodzi także dla innych rodzajów fal.
  - Efekt Dopplera wykorzystujemy w praktyce do pomiaru prędkości pojazdów za pomocą radaru, a także do pomiaru prędkości krwi (badanie dopplerowskie USG).

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To musisz umieć

1. Od jakich powierzchni odbija się światło?

A. Tylko od lustra.

B. Tylko od białych i od błyszczących.

C. Od każdej, chyba że jest idealnie czarna.

D. Od każdej, włącznie z idealnie czarną.

2. Przedstawione na zdjęciu złudzenie optyczne jest skutkiem:

A. odbicia światła od zakrzywionej powierzchni szklanki.

B. załamania światła na granicy wody i powietrza.

C. rozproszenia światła.

D. polaryzacji światła przy odbiciu.

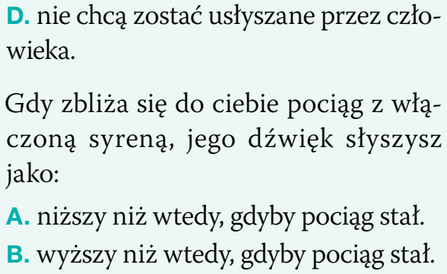


3. Nauczyciel geografii używa wskaźnika laserowego, aby pokazywać uczniom odpowiednie miejsca na dużej mapie. Czy jest możliwe, aby uczniowie widzieli promień światła w postaci świetlistej linii w powietrzu biegnącej od lasera do mapy?

A. Nie jest to możliwe, a ilustracja do zadania to tylko fotomontaż.

B. Tak, taką smugę zawsze widać.

C. Tak, jest to możliwe, ale tylko jeśli w powietrzu jest dużo kurzu.



4. Na jakiej wysokości nad Ziemią znajduje się błękitna pokrywa nieba?

A. ok. 1 km

B. ok. 10 km

C. ok. 100 km

D. Takiej pokrywy w ogóle nie ma – to tylko złudzenie.

5. Nietoperze używają do echolokacji ultradźwięków, a nie dźwięków słyszalnych, ponieważ:

A. ultradźwięki rozchodzą się szybciej od dźwięków słyszalnych.

B. ultradźwięki w mniejszym stopniu ulegają dyfrakcji na przeszkodzie o określonej wielkości.

C. ultradźwięki rozchodzą się na dalszą odległość.

D. nie chcą zostać usłyszane przez człowieka.

6. Gdy zbliża się do ciebie pociąg z włączoną syreną, jego dźwięk słyszysz jako:

A. niższy niż wtedy, gdyby pociąg stał.

B. wyższy niż wtedy, gdyby pociąg stał.

C. tak samo wysoki jak wtedy, gdyby pociąg stał.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To należy umieć

1. W powietrzu rozchodzi się fala dźwiękowa o częstotliwości 3440 Hz i długości 10 cm. Gdy przejdzie do wody, będzie miała:

A. częstotliwość równą 3440 Hz i długość mniejszą od 10 cm.

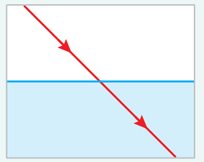
B. częstotliwość równą 3440 Hz i długość większą od 10 cm.

C. długość równą 10 cm i częstotliwość mniejszą od 3440 Hz.

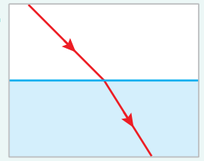
D. długość równą 10 cm i częstotliwość większą od 3440 Hz.

2. Który z rysunków poprawnie przedstawia przejście światła z powietrza do wody?

A.



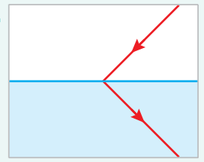
C.



B.

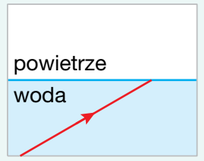


D.

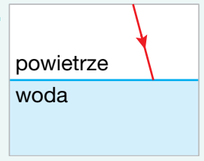


3. Całkowite wewnętrzne odbicie może zajść w przypadku przedstawionym na rysunku:

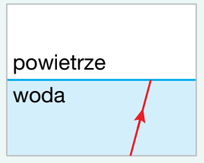
A.



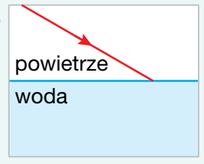
C.



B.



D.



4. Dwa głośniki emitują identyczne fale dźwiękowe o długości 50 cm. Jeśli znajdujemy się 420 cm od jednego głośnika, a 545 cm od drugiego, to:

A. dźwięk jest bardzo głośny – obserwujemy wzmocnienie dźwięku.

B. dźwięk jest tak głośny, jakby pochodził od jednego głośnika.

C. dźwięk jest bardzo cichy – obserwujemy wygaszenie fali.

5. Czy podane zdanie jest prawdziwe? Jeśli nie, to jak je poprawić?

a) Polaryzacja światła to kierunek drgań pola elektrycznego w tym świetle.

b) Polaryzacja to zjawisko, które może zachodzić tylko dla fal podłużnych.

c) Okulary polaryzacyjne zapobiegają oślepieniu światłem odbitym od pionowych powierzchni.

6. Początkowo dwa polaryzatory są ustawione tak, że przepuszczają całe padające na nie światło. Opisz, co się stanie, gdy jeden z polaryzatorów obrócimy względem pierwotnego położenia o:

a) 45°,

b) 90°,

c) 180°.

7. (F) Na Księżycu niebo jest ciemne nawet w dzień, ponieważ:

A. nie ma tam atmosfery, która rozpraszałaby światło słoneczne.

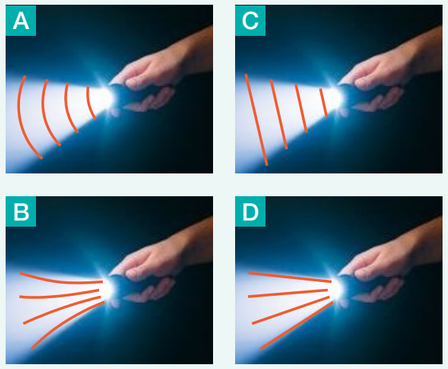
B. grawitacja jest sześć razy słabsza od ziemskiej.

C. Księżyc jest w kosmosie.

D. do Księżyca nie dociera światło słoneczne.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To warto umieć

1. Na którym rysunku poprawnie przedstawiono powierzchnie falowe światła emitowanego przez latarkę?



2. (F) Dopasuj opisy A–G do zjawisk fizycznych I–IV.

Uwaga. Zjawiska mogą się powtarzać.

A. Na niebie pojawiła się tęcza.

B. Niebo w dzień jest niebieskie.

C. Bańka mydlana mieni się różnymi barwami.

D. Wiosło częściowo zanurzone w wodzie wydaje się złamane.

E. Zachodzące słońce jest czerwone.

F. Światło nie opuszcza światłowodu, chociaż jest on wygięty.

G. W nocy widać smugę światła biegnącego z reflektora samochodu.

I. załamanie światła

II. rozproszenie światła na niejednorodnościach ośrodka

III. dyfrakcja i interferencja światła

IV. całkowite wewnętrzne odbicie

3. Kąt graniczny dla granicy diamentu i powietrza wynosi 24°. Całkowite wewnętrzne odbicie może zajść, gdy promień światła pada na granicę diamentu z powietrzem pod kątem:

A. 20° od strony diamentu.

B. 20° od strony powietrza.

C. 60° od strony diamentu.

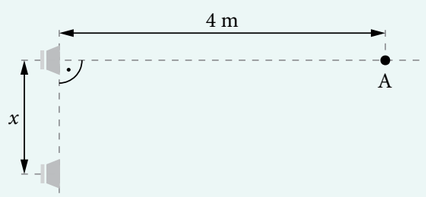
D. 60° od strony powietrza.



ZADANIA POWTÓRZENIOWE Dasz sobie z tym radę? – Świetnie

1. Dwa głośniki (patrz rys.) emitują jednakowe fale dźwiękowe o długości 10 cm. Jaka powinna być ich wzajemna odległość x, aby w punkcie A zachodziło całkowite wygaszanie fali?

Uwaga. Istnieje nieskończenie wiele takich odległości x, znajdź najmniejszą z nich.



2. Rozwiąż szaradę.

Uwaga. Szarada to zagadka, w której odgadujemy słowo na podstawie znaczenia jego poszczególnych sylab lub grup sylab. Określenia „pierwsza", „druga", … oznaczają właśnie pierwszą, drugą, … sylabę.

W pierwszą i coś jeszcze wsadzano za karę,
Drugą dyrygentom szyje się na miarę,
Druga z trzecią, gdy w partii masz druhów i wrogów,
Wszystko razem pozwala nam słyszeć zza rogu.

Analiza tekstu

Cywilizacja zgiełku



Hałas to skutek uboczny współczesnej cywilizacji, powodujący więcej problemów, niż nam się wydaje. Lekarze mówią wprost: głuchniemy!

Jak wylicza Europejska Agencja Ochrony Środowiska (EEA), nadmierny hałas przyczynia się do 16,6 tys. przedwczesnych zgonów rocznie, i to tylko wśród mieszkańców Europy. I choć wielu przypadkom śmierci moglibyśmy zapobiec, nadal robimy niewiele, by bronić się przed problemem.

Nadmiar decybeli

Żyjemy w czasach niebywałego hałasu. (…) Na terenie 33 badanych państw europejskich znajdziemy zaledwie 18% obszarów niezanieczyszczonych hałasem. Nomenklatura ekologiczna nie pojawiała się tu przypadkiem, bo o problemach z hałasem mówi się najczęściej w kategoriach zanieczyszczenia lub skażenia, a według badań EEA jest to drugi, zaraz po smogu, największy problem Europejczyków. Trzeba jednak podkreślić, że nie dotyczy on tylko naszego kontynentu – dotyka ludzi na całym świecie.

Eksperci spierają się o granicę szkodliwości hałasu. Najczęściej przyjmuje się, że stanowi ją dźwięk o natężeniu 85 dB, choć niektórzy zalecają nieprzekraczanie 78 dB. Ciekawie wygląda na tym tle zeszłoroczny raport Europejskiej Agencji Środowiska, który ostrzega, że szkodliwe mogą być już dźwięki powyżej 55 dB w dzień i 50 dB w nocy.

W rzeczywistości wszystko zależy od intensywności zgiełku i czasu przebywania w nim. Mniejszy hałas, ale towarzyszący nam regularnie przez większą część dnia, potrafi wyrządzić więcej szkód niż jednorazowa wizyta na głośnym koncercie. A czasem ciężko się od niego uwolnić, bo ten towarzyszy nam nawet w domu.

Kilka lat temu w ramach eksperymentu naukowcy (…) zatrzymywali na ulicach Melbourne i Sydney przypadkowych przechodniów, którzy słuchali muzyki przez słuchawki, i mierzyli poziom preferowanej przez nich głośności. Okazało się, że co czwarta osoba puszczała muzykę tak głośno, że groziło to uszkodzeniem słuchu. Im szczelniejsza słuchawka, tym gorzej, bo ukierunkowuje dźwięk wprost do ucha.

– Słuchać muzyki przez słuchawki powinniśmy nie dłużej niż 90 min dziennie i to przy maksymalnie 80-procentowej głośności. Kiedy raz uszkodzimy słuch, nie ma odwrotu – ostrzega prof. Davin McAlpine.



Chorobliwe dźwięki

Hałas negatywnie oddziałuje na cały organizm człowieka, a w skrajnym przypadku może nawet zabić. Jakim cudem? Otóż stały albo powracający hałas powoduje poważny stres, co prowadzi do podwyższenia ciśnienia krwi, zaburzeń snu, obniżenia zdolności umysłowych, chorób układu nerwowego, a w końcu przedwczesnego zgonu.

– Samo mieszkanie w okolicy lotniska zwiększa ryzyko wystąpienia chorób kardiologicznych nawet o 17%. Im bliżej, tym gorzej – konkluduje prof. Stephen Stansfeld z Queen Mary University of London.

Hałas wpływa destrukcyjnie również na układ nerwowy, powodując rozdrażnienie, niepokój, nadpobudliwość, apatię, agresję, zmęczenie, lęki i brak koncentracji. Ze strony układu pokarmowego mogą pojawić się z kolei problemu z metabolizmem, tycie, wrzody żołądka (...) Hałaśliwe otoczenie przyspiesza wreszcie i nasila rozwój zaburzeń psychicznych, wylicza Willy Passchier-Vermeer w pracy *Noise exposure and public health*.

Kamil Nadolski
(skrócona wersja artykułu opublikowanego w czasopiśmie „Wiedza i Życie” 2018, nr 12)

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Wyjaśnij pojęcia i zwroty: nomenklatura, preferowany, choroby kardiologiczne, apatia, metabolizm.

2. Oszacuj, ile osób rocznie w Polsce umiera przedwcześnie z powodu hałasu. Załóż, że odsetek takich przypadków jest w Polsce taki sam jak w całej Europie.

3. Wypisz z tekstu co najmniej dwa słowa i wyrażenia o znaczeniu podobnym do wyrazu „hałas”.

4. Czy poniższe zdania są prawdziwe? Zapisz w zeszycie odpowiedzi oraz cytaty z artykułu, na podstawie których można to ocenić.

a) Na terenie 18% spośród 33 badanych państw nie występuje zanieczyszczenie hałasem.

b) Nie należy słuchać muzyki przez słuchawki więcej niż przez półtorej godziny dziennie i nie należy ustawiać głośności wyższej niż 80%.

c) Hałas może powodować choroby serca.

d) Hałas może powodować nadmierny wzrost masy ciała.

5. W tekście pojawia się decybel (dB) – jednostka poziomu natężenia dźwięku. Znajdź w odpowiednim źródle potrzebne informacje na temat tej wielkości. Oblicz na ich podstawie, ile razy większa energia dźwięku dociera do człowieka, gdy natężenie dźwięku wynosi 80 dB, w stosunku do sytuacji, gdy wynosi ono 50 dB.

10. Atomy i promieniowanie

Czy poziom radioaktywności można mierzyć w bananach?



30 Czym jest światło



Jak stworzyć czujnik płomienia niewrażliwy na światło słoneczne i inne zakłócenia?

Cele lekcji:

- Poznasz inne oblicze światła.
- Dowiesz się, za co Albert Einstein otrzymał Nagrodę Nobla.

Czym jest światło

Po przeczytaniu poprzedniego rozdziału podręcznika natura światła nie powinna budzić twoich wątpliwości: światło ulega dyfrakcji i interferencji, a więc niewątpliwie jest falą. Do końca XIX w. tak samo uważali wszyscy fizycy. Jednak odkryte wtedy zjawisko zwane efektem fotoelektrycznym sprawiło, że nasze rozumienie przyrody trzeba było przemyśleć na nowo.

Efekt fotoelektryczny

Na czym polega to zjawisko? W najprostszej postaci możesz je zaobserwować w szkolnej pracowni. Wykonajmy doświadczenie.

Doświadczenie 19.

Obserwacja efektu fotoelektrycznego

1. Przygotuj czuły elektroskop, balonik, płytkę cynkową (2 × 4 cm lub większą), papier ścierny, taśmę klejącą, fragment odzieży z wełny lub polaru oraz mocną lampę ultrafioletową (UV, może to być lampa do utrwalania lakieru do paznokci, ale mocy 150 W lub większej). Doświadczenie wykonuj w suchym pomieszczeniu.
   Uwaga. Nie patrz bezpośrednio na światło lampy.
2. Wyczyść papierem ściernym jedną stronę płytki cynkowej, aż stanie się błyszcząca. Oznacza to, że z powierzchni metalu został usunięty tlenek cynku.

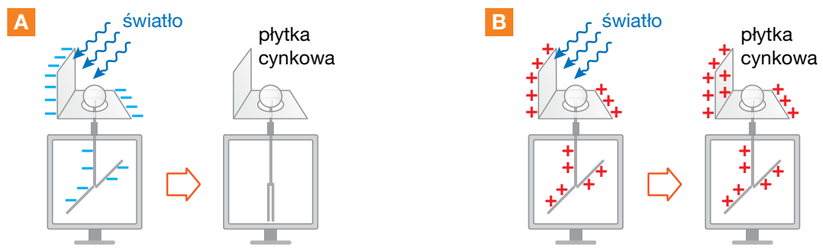
3. Przyczep za pomocą taśmy klejącej płytkę cynkową do kulki elektroskopu – błyszczącą stroną do góry tak, aby taśma zakrywała jak najmniejszą część płytki.
4. Naelektryzuj ujemnie balonik, trąc go o tkaninę. Przesuń balonikiem po płytce, tak aby zebrać jak największy ładunek.
5. Sprawdź, jak długo utrzymuje się ładunek.
6. Ponownie naelektryzuj ujemnie balonik i za jego pomocą elektroskop. Sprawdź, jak długo utrzymuje się ładunek, gdy płytka cynkowa jest mocno oświetlona za pomocą lampy UV.
7. Naelektryzuj teraz elektroskop dodatnio. Możesz znowu wykorzystać balonik, ale tym razem naelektryzuj elektroskop przez indukcję. Sprawdź, jak długo utrzymuje się ładunek, jeśli płytka cynkowa jest mocno oświetlona za pomocą lampy UV.



Wnioski z doświadczenia

Promieniowanie ultrafioletowe powodowało szybsze rozładowanie elektroskopu, ale tylko wtedy, gdy był naładowany ujemnie. Dlaczego tak się stało?
Otóż promieniowanie ultrafioletowe, które niesie pewną energię, wybija elektrony z płytki cynkowej.

- Gdy elektroskop jest naładowany ujemnie, elektronów jest zbyt dużo, dlatego po wybiciu niektórych z nich elektroskop staje się obojętny elektrycznie (rys. A).
- Gdy elektroskop i płytka są naładowane dodatnio, wybite elektrony są przyciągane do elektroskopu i bardzo szybko wracają, dlatego ich ewentualne wybicie nie spowoduje jego rozładowania (rys. B). A gdyby nie wróciły, spowodowałoby to tylko mocniejsze naładowanie elektroskopu.



▲ Przebieg doświadczenia

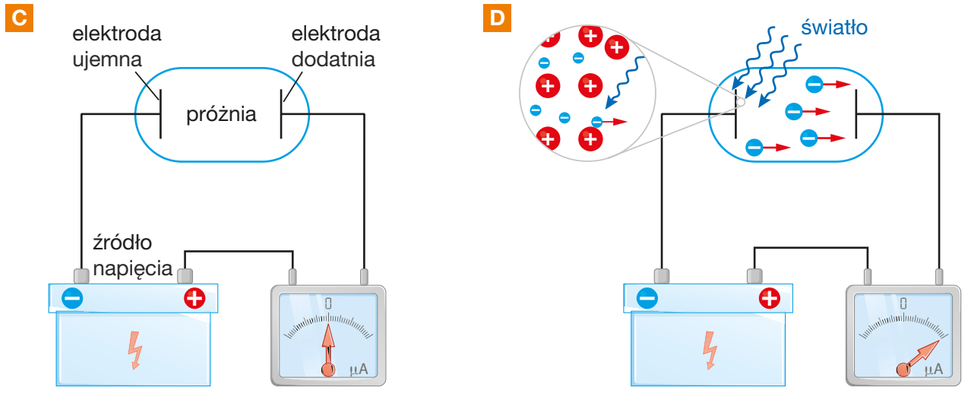
Światło a przepływ prądu

Przejdźmy do opisu bardziej profesjonalnej wersji doświadczenia. Wyobraź sobie przezroczystą szklaną bańkę, z której usunięto powietrze. Wewnątrz bańki znajdują się dwie elektrody – metalowe płytki połączone z przewodami wyprowadzonymi na zewnątrz.

- Jeśli do elektrod podłączymy źródło napięcia, prąd nie popłynie, ponieważ między elektrodami znajduje się próżnia (rys. C na następnej stronie).
- Jednak sytuacja się zmieni, jeśli elektrodę ujemną oświetlimy. Wtedy prąd zaczyna płynąć (rys. D).

W zależności od tego, z jakiego metalu wykonano elektrodę ujemną, do wywołania tego efektu może wystarczyć światło widzialne, a może być potrzebny – jak w doświadczeniu z elektroskopem – ultrafiolet.

Określenie „światło” może oznaczać światło widzialne, ale także inne fale elektromagnetyczne.



▲ C Prąd nie płynie w obwodzie. D Światło wybija elektrony z elektrody ujemnej i prąd płynie

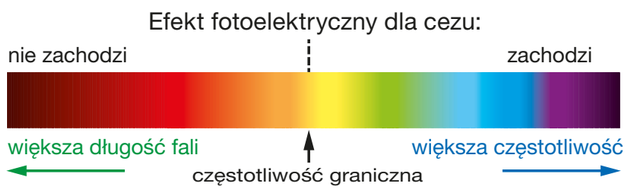
Jak to możliwe? Otóż światło niesie ze sobą pewną energię. Kosztem tej energii elektron może zostać wybity z elektrody. Kiedy tak się stanie, jest odpychany od elektrody ujemnej i przyciągany do elektrody dodatniej. Zatem elektrony przemieszczają się od elektrody ujemnej do dodatniej – w obwodzie zaczyna płynąć prąd elektryczny.

Zaskakująca obserwacja

To, co do tej pory napisaliśmy o zjawisku fotoelektrycznym, można było wyjaśnić na podstawie znanych już praw fizyki. Wiadomo przecież, że fale elektromagnetyczne niosą energię, a więc mogą ją przekazać elektronom. Kosztem tej energii elektrony mogą wyrwać się z metalu. Okazuje się jednak, że temu zjawisku towarzyszy pewien trudny do wyjaśnienia fakt.

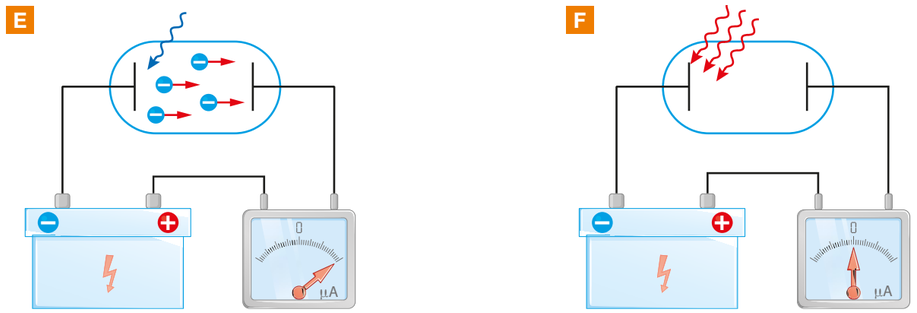
Zjawisko fotoelektryczne zachodzi wyłącznie pod wpływem fal elektromagnetycznych o częstotliwości równej **częstotliwości granicznej**, charakterystycznej dla danego metalu, lub od niej większej.

Na przykład dla cezu częstotliwość graniczna wynosi $5{,}1 \cdot 10^{14}$ Hz, co odpowiada długości fali 590 nm, czyli barwie pomarańczowej. Dla wielu innych metali, np. żelaza, częstotliwość graniczna należy już do ultrafioletu.



▲ Barwy światła, które powodują efekt fotoelektryczny dla cezu

Tak więc zjawisko fotoelektryczne w przypadku cezu zostanie wywołane przez światło niebieskie, nawet bardzo słabe (rys. E), natomiast nie wywoła go światło czerwone, nawet bardzo silne (rys. F).



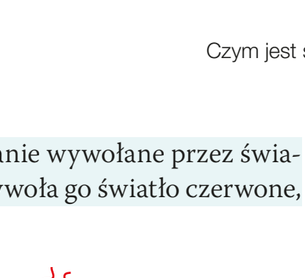
▲ Światło niebieskie wybija elektrony z cezu E, natomiast światło czerwone – nawet o dużym natężeniu – ich nie wybija F

A przecież bardzo jasne światło czerwone niesie ze sobą więcej energii niż słabe światło niebieskie. Jak wyjaśnić tę sprzeczność?
Falowa teoria światła nie dawała odpowiedzi na postawione wyżej pytanie. Impas przełamał dopiero Albert Einstein, który w 1905 r. przedstawił wyjaśnienie zjawiska fotoelektrycznego uznawane do dziś. Warto wspomnieć, że za to odkrycie otrzymał Nagrodę Nobla.

Cząstki światła – fotony

Albert Einstein przyjął następujące założenie:

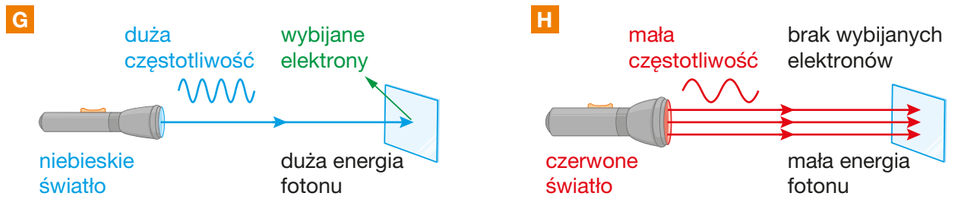
Światło (i inne fale elektromagnetyczne) można opisywać jako strumień cząstek, z których każda niesie energię tym większą, im większa jest częstotliwość światła.



▲ Albert Einstein (1879–1955)

Cząstki te nazwano potem **fotonami**.
Istnienie fotonów pozwala wyjaśnić obserwowaną zależność:

- W słabym niebieskim świetle jest niewiele fotonów, ale każdy z nich ma dużą energię, wystarczającą do wybicia elektronu z cezu (rys. G).
- W jasnym świetle czerwonym jest dużo fotonów, ale każdy z nich ma niewielką energię, która nie wystarcza do wybicia elektronu (rys. H). Musiałyby w niego uderzyć dwa fotony naraz, a to praktycznie się nie zdarza.

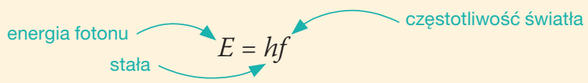


▲ Zaistnienie zjawiska fotoelektrycznego zależy od częstotliwości światła, a nie od jego natężenia

Zjawisko fotoelektryczne możemy zatem porównać do sytuacji, gdy chcemy rozbić szybę. Nie uda się tego zrobić wieloma kulkami z papieru, ale bez problemu stłuczemy ją jedną stalową kulką, nawet jeśli jej energia będzie mniejsza niż łączna energia wszystkich papierowych kulek.

Energia fotonu

Einstein opisał **energię fotonu** za pomocą wzoru:



Ten wzór był znany już wcześniej dzięki pracom Maxa Plancka (czyt. maksa planka). Dlatego występującą w nim stałą $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J · s nazywamy stałą Plancka.
Z powyższego wzoru wynika, że:

> Energia fotonu jest proporcjonalna do częstotliwości promieniowania.



▲ Widmo światła widzialnego ze wskazaniem, jak zmienia się długość fali, częstotliwość i energia fotonu

Dlaczego na co dzień światło wydaje się ciągłe

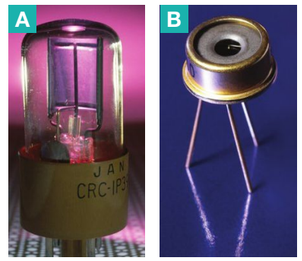
Niezwykle mała wartość stałej Plancka wyjaśnia, dlaczego na co dzień nie zauważamy, że światło składa się z fotonów. Nawet słaba lampka rowerowa wysyła w ciągu sekundy ponad 10^{17} (sto biliardów) fotonów – nic dziwnego, że nie widzimy ich jako oddzielnych błysków.

Zastosowania zjawiska fotoelektrycznego

Zjawisko fotoelektryczne, zachodzące tylko pod wpływem światła o wystarczająco krótkiej długości fali, czyli składającego się z fotonów o wystarczająco dużej energii, jest wykorzystywane w wielu urządzeniach, zwłaszcza wykrywających promieniowanie UV, np. na stacjach paliw. Są to czujniki płomienia, które do obserwacji wykorzystują emitowany przez niego ultrafiolet (patrz zdjęcie na górze s. 202). Dzięki użyciu czujników wrażliwych tylko na tę część promieniowania UV, której nie przepuszcza gruba warstwa ziemskiej atmosfery, te urządzenia nie mylą płomienia np. z przypadkowym błyskiem światła słonecznego.

Podobne czujniki UV spotykamy w niektórych fabrykach, detektorach astronomicznych, a dla nieco innego zakresu UV – w czujnikach meteorologicznych, oceniających natężenie ultrafioletowej części promieniowania słonecznego.

Dawniej fotokomórek, czyli baniek próżniowych podobnych do opisanej na s. 203, używano także do pomiaru czasu w zawodach sportowych, automatycznego otwierania drzwi czy odczytywania ścieżki dźwiękowej filmu. Dzisiaj do tych celów używamy fotodiody – elementu znacznie mniejszego, tańszego i mniej podatnego na uszkodzenia. Ponieważ pełni ona tę samą funkcję, potocznie także nazywamy ją fotokomórką. Te dwa elementy przedstawiono na ilustracji obok.



▲ A Fotokomórka próżniowa, B fotodioda

To najważniejsze

- **Zjawisko fotoelektryczne** zachodzi wtedy, gdy światło (lub inne promieniowanie elektromagnetyczne) padające na metal wybija z niego elektrony.
- Efekt fotoelektryczny zachodzi wyłącznie pod wpływem promieniowania o częstotliwości równej lub większej od **częstotliwości granicznej**, charakterystycznej dla danego metalu.
- Pełne wyjaśnienie efektu fotoelektrycznego jest możliwe wyłącznie po przyjęciu założenia, że światło jest strumieniem **fotonów**, z których każdy niesie **porcję energii**: $E = hf$, gdzie f to częstotliwość promieniowania, natomiast $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J · s nazywamy stałą Plancka.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Dwie diody LED, zielona i czerwona, emitują światło o tej samej mocy. Która z nich emituje więcej fotonów w czasie 1 s?

2. Który z fotonów ma największą energię?

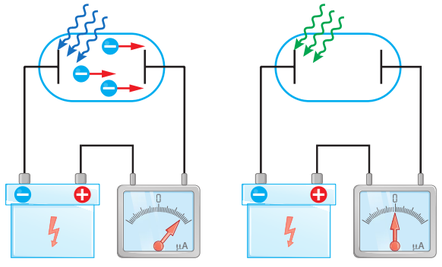
A. światła niebieskiego

B. światła żółtego

C. podczerwieni

D. nadfioletu

3. W pewnym metalu efekt fotoelektryczny może być wywołany przez światło niebieskie, ale nie przez zielone.



Efekt fotoelektryczny w tym metalu można wywołać za pomocą światła:

A. czerwonego.

B. pomarańczowego.

C. żółtego.

D. fioletowego.

4*. W układzie doświadczalnym do badania efektu fotoelektrycznego zamieniono bieguny źródła napięcia. Wskaż wszystkie zdania prawdziwe.

A. Prąd popłynie, a jego natężenie nie będzie zależało od napięcia.

B. Prąd popłynie, a jego natężenie będzie rosło wraz ze wzrostem napięcia.

C. Prąd popłynie, a jego natężenie będzie malało wraz ze wzrostem napięcia.

D. Prąd nie popłynie.

31 Skutki cząsteczkowej natury światła



Dlaczego nawet w słoneczny dzień nie można opalić się przez szybę?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak odkrycie efektu fotoelektrycznego przyczyniło się do poznania nowych praw przyrody i do rozwoju techniki.
- Poznasz inne zjawiska, które można wyjaśnić dzięki cząsteczkowej naturze światła.

Wiemy już, że do wyjaśnienia zjawiska fotoelektrycznego Einstein przyjął hipotezę o cząsteczkowej naturze światła. Dlaczego jednak do wywołania tego zjawiska w przypadku niektórych metali wystarczy światło widzialne, a dla niektórych jest potrzebny nadfiolet? Spójrzmy na metal z bliska.

Praca wyjścia

Aby wyrwać elektron z powierzchni metalu, trzeba mu dostarczyć energię, którą tradycyjnie nazywamy **pracą wyjścia**. Podsumujmy:

Praca wyjścia to energia, jaką trzeba dostarczyć elektronowi, aby został on wyrwany z powierzchni metalu.

Praca wyjścia jest różna dla różnych metali:

- dla cezu wynosi tylko $3{,}4 \cdot 10^{-19}$ J, a taką energię ma foton światła żółtego
- dla sodu wynosi ona $4{,}4 \cdot 10^{-19}$ J, a taką energię ma foton światła niebieskiego
- dla cynku praca wyjścia to aż $6{,}9 \cdot 10^{-19}$ J, a foton o tej energii należy już do ultrafioletu.

Tabelę z wartościami prac wyjścia dla różnych metali znajdziesz na s. 352.

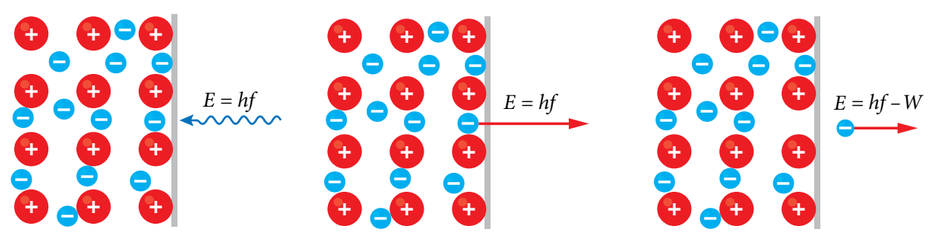
Bilans energetyczny zjawiska fotoelektrycznego

Jak duża będzie energia elektronu po opuszczeniu przez niego metalu? Oznaczmy pracę wyjścia literą W. Elektron na wydostanie się z metalu traci energię równą pracy wyjścia, więc pozostanie mu energia kinetyczna:

energia kinetyczna fotonu — $E_k = hf - W$ — praca wyjścia

stała Plancka — częstotliwość promieniowania

Przeanalizuj rysunki pokazujące bilans energetyczny tego zjawiska.



1. Foton o energii hf pada na powierzchnię metalu

2. Elektron, znadujący się w tym metalu, pochłania energię hf

3. Wybity elektron ma energię kinetyczną mniejszą od energii fotonu o pracę wyjścia W

Elektronowolt

Pracę wyjścia i energię fotonów można wyrażać w dżulach, tak jak to robiliśmy na poprzedniej stronie. Wtedy jednak musimy posługiwać się bardzo małymi ułamkami dżula. Dlatego wprowadzimy nową jednostkę pracy i energii – **elektronowolt** (1 eV).

$$1\ \text{eV} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$$

Jak wiesz już z drugiej klasy, ładunek 1 C przepływający między biegunami baterii o napięciu 1 V może wykonać pracę 1 J. Oznacza to, że 1 J = 1 C · 1 V, a więc dżul można nazwać „kulombowoltem". Definicja elektronowolta brzmi podobnie, ale dotyczy tylko jednego elektronu, a nie strumienia elektronów mierzonego w kulombach.

$$1\ \text{eV} = 1\ e \cdot 1\ \text{V} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C} \cdot \frac{\text{J}}{\text{C}} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$$

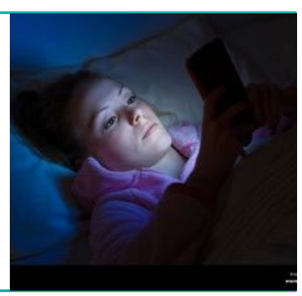
Gdy energię wyraża się w elektronowoltach, stałą Plancka można zapisać jako:

$$h = 4{,}14 \cdot 10^{-15}\ \text{eV·s}$$

Z tak wyliczonej stałej Plancka można korzystać podczas rozwiązywania zadań.

A to ciekawe

Od barwy światła zależy także wydzielanie melatoniny – hormonu regulującego rytm dobowy. W ciągu dnia niebieskie światło hamuje jej wydzielanie, natomiast wieczorem, gdy światło słoneczne zawiera mniej barwy niebieskiej, melatonina zaczyna być wydzielana i stajemy się senni. Właśnie dlatego sztuczne światło niebieskie, np. emitowane przez ekran smartfona czy telewizora, sprzyja bezsenności.



Przykład

Analiza efektu fotoelektrycznego

Jaką długość fali musi mieć promieniowanie powodujące efekt fotoelektryczny dla sodu? Czy wystarczy do tego światło widzialne, a jeśli tak – to o jakiej barwie?

Dane:
$W = 2{,}75$ eV – praca wyjścia dla sodu
$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\,\text{J} \cdot \text{s} = 4{,}14 \cdot 10^{-15}\,\text{eV} \cdot \text{s}$ – stała Plancka

Szukane:
λ – długość fali

Rozwiązanie:

Obliczenie częstotliwości

Aby foton mógł spowodować efekt fotoelektryczny, jego energia musi być co najmniej równa pracy wyjścia:

$$E = W$$

Energię fotonu obliczamy ze wzoru:

$$E = hf$$

a więc po przyrównaniu powyższych wzorów i przekształceniu otrzymujemy szukaną częstotliwość:

$$f = \frac{E}{h} = \frac{W}{h}$$

Skorzystamy ze stałej Plancka w jednostce eV · s, ponieważ pracę wyjścia mamy podaną w eV.

Dla danych z tego zadania otrzymujemy:

$$f = \frac{2{,}75\ \text{eV}}{4{,}14 \cdot 10^{-15}\ \text{eV} \cdot \text{s}} = 6{,}64 \cdot 10^{14}\ \text{Hz}$$

Potrzebny jest foton energii równej **co najmniej** pracy wyjścia, a więc o częstotliwości równej **co najmniej** $6{,}64 \cdot 10^{14}$ Hz.

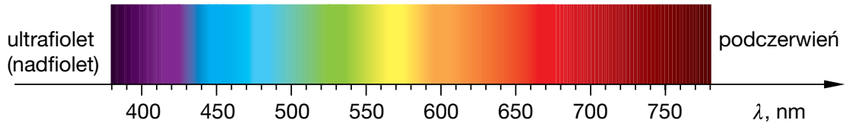
Obliczenie długości fali

Na podstawie tej częstotliwości oraz prędkości światła, równej $c = 3 \cdot 10^8\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$, obliczamy długość fali:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8\ \frac{\text{m}}{\text{s}}}{6{,}64 \cdot 10^{14}\ \text{Hz}} = 4{,}52 \cdot 10^{-7}\ \text{m} = 452\ \text{nm}$$

Częstotliwość a długość fali → s. 104–105

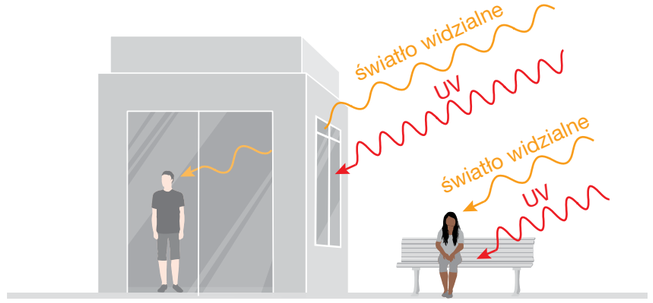
Fala o większej częstotliwości ma mniejszą długość, a więc jest nam potrzebna fala o długości 452 nm lub **mniejszej**.
Na s. 352 znajduje się widmo światła widzialnego. Sprawdzamy, że długość fali 452 nm odpowiada barwie ciemnoniebieskiej.



Odpowiedź: Do wywołania efektu fotoelektrycznego w sodzie jest potrzebne promieniowanie elektromagnetyczne o długości fali co najwyżej 452 nm. Może to być światło widzialne – ciemnoniebieskie lub fioletowe.

Inne zjawiska wynikające z cząsteczkowej natury światła

Poza efektem fotoelektrycznym istnieje wiele innych zjawisk, w których znaczenie ma częstotliwość światła, a nie jego natężenie. Dzieje się tak dlatego, że w zjawiskach zachodzących na poziomie pojedynczych atomów i cząsteczek znaczenie ma energia pojedynczego fotonu, a nie liczba fotonów, które i tak trafiają w inne atomy albo cząsteczki. Jednym z przykładów jest powstawanie opalenizny na skutek promieniowania ultrafioletowego. Światłem widzialnym można się ogrzać, można się nawet dotkliwie poparzyć (np. za pomocą lasera), ale nie wywoła ono opalenizny.
Reakcja chemiczna, podczas której w skórze jest wytwarzany brązowy barwnik, wymaga fotonu o odpowiedniej energii.



Do opalania się jest potrzebny ultrafiolet, którego szkło nie przepuszcza

Innym zjawiskiem zachodzącym w naszym organizmie pod wpływem ultrafioletu jest synteza witaminy D.

Dualizm korpuskularno-falowy

Skoro tak wiele zjawisk można wyjaśnić przy założeniu, że światło jest strumieniem cząstek, to możesz słusznie zapytać: a dyfrakcja i interferencja? Przecież są to typowe zjawiska falowe, więc jak z kolei je możemy wytłumaczyć? Czy w końcu światło jest falą czy nią nie jest?
Odpowiedź na to pytanie, o którą fizycy sprzeczali się przez kilkaset lat, okazuje się zupełnie inna, niż byśmy się spodziewali. Wszystko wskazuje na to, że fala elektromagnetyczna nie jest ani typową falą, ani też strumieniem miniaturowych kulek, ale czymś trzecim. Czymś, co w niektórych zjawiskach zachowuje się jak klasyczna fala, a w innych – jak typowe, klasyczne cząstki.

Zjawiska świadczące o tym, że światło ma naturę	
falową	**korpuskularną (cząstkową)**
Dyfrakcja	Zjawisko fotoelektryczne
Interferencja	Zjawiska chemiczne wywoływane przez światło

Oba opisy się dopełniają i np. światło fioletowe możemy opisywać jako falę o długości 400 nm, ale też – jako strumień fotonów, z których każdy niesie energię 3,1 eV. Dlatego mówimy o **dualizmie korpuskularno-falowym**, czyli o podwójnej naturze światła.

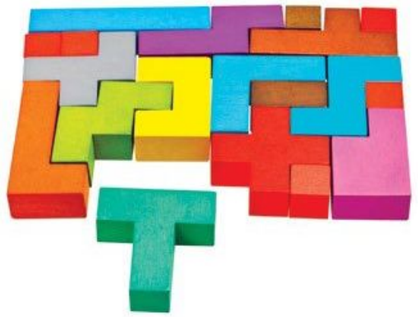
Co to jest kwant

Einstein nie używał jeszcze słowa „foton”, ale określenia „kwant światła”. Samo słowo „kwant” oznacza najmniejszą, niepodzielną część. W tym sensie grosz jest kwantem pieniądza w Polsce, ponieważ nie można zapłacić kwoty mniejszej niż grosz, a każda kwota jest wielokrotnością grosza.

Powstanie mechaniki kwantowej

Wyjaśnienie efektu fotoelektrycznego było ważne dlatego, że spowodowało konieczność przemyślenia na nowo natury świata materialnego. Można to porównać do łamigłówki, w której udało się już ułożyć prawie wszystkie elementy, ale ten ostatni – niepasujący – powoduje, że całą zabawę musimy zacząć od początku (patrz rys.).

Zjawisko fotoelektryczne wraz z kilkoma innymi zjawiskami, których nie dało się wytłumaczyć na podstawie XIX-wiecznej fizyki, doprowadziło do powstania całkiem nowej teorii fizycznej: **mechaniki kwantowej**, której nazwa wywodzi się właśnie od kwantów światła. Choć pod wieloma względami jest ona zaskakująca i sprzeczna z intuicją, to nie tylko została sprawdzona w wielu badaniach naukowych, lecz także stała się podstawą dzisiejszej techniki, np. budowy urządzeń elektronicznych.



▲ Skoro ostatni element nie pasuje, to znaczy, że trzeba przestawić także pozostałe

To najważniejsze

- Światło ma **podwójną naturę**: w niektórych zjawiskach zachowuje się jak **fala**, a w innych – jak strumień **cząstek**.
- Wiele zjawisk chemicznych (np. opalanie, synteza witaminy D) da się wyjaśnić tylko dzięki cząsteczkowej naturze światła.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Mikrofale mają energię wystarczającą do upieczenia kiełbasy, więc dlaczego za ich pomocą nie można się opalić?
2. Czerwona lampka LED emituje światło o długości fali od 600 do 750 nm. Czy takim światłem da się opalić?
3. Synteza witaminy D zachodzi pod wpływem promieniowania o długości fali ok. 300 nm. Oblicz jego częstotliwość oraz energię pojedynczego fotonu.
4. P Oblicz, jaka jest minimalna częstotliwość fotonów wywołujących efekt fotoelektryczny dla platyny. Czy efekt fotoelektryczny dla tego metalu można wywołać za pomocą fotonów światła widzialnego? Jeśli tak, jaka może być jego barwa?
5. Elektrodę cezową oświetlamy promieniowaniem ultrafioletowym o długości fali 300 nm. Oblicz energię wybitych elektronów.

32 Czy elektron jest falą



Skąd wiemy, jak wyglądają wirusy?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak pogodzić ze sobą modele światła: falowy i korpuskularny.
- Innym okiem spojrzysz na świat wokół siebie.

Fale de Broglie’a

Z poprzedniej lekcji już wiesz, że światło ma zarówno cechy fali, jak i strumienia cząstek. Można się zastanawiać, czy światło – i ogólnie fale elektromagnetyczne – jest tu wyjątkiem.

Kiedy badania natury światła były już bardzo zaawansowane, młody francuski fizyk, książę Louis Victor de Broglie (czyt. lu**i** wikt**o**r de br**o**j) postawił hipotezę, że podwójną naturę ma nie tylko światło, lecz także cząstki mikroświata, takie jak elektrony.

Hipoteza w nauce to przypuszczenie, które nie zostało jeszcze potwierdzone.

Zaproponował on również wzór na długość **fali materii** związanej z poruszającą się cząstką:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

λ – długość fali; m – masa cząstki; h – stała Plancka; v – prędkość

Jak widzimy, stosunkowo dużą długość fali mogą mieć ciała bardzo lekkie i poruszające się powoli.



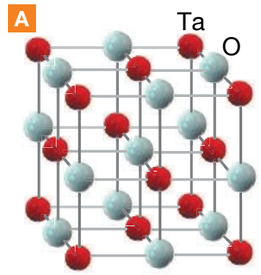
▲ Louis Victor de Broglie (1892–1987)

Potwierdzenie hipotezy de Broglie'a

Już wkrótce tę hipotezę potwierdzono doświadczalnie. Jak tego dokonano? Podobnie jak wcześniej dla światła: dzięki obserwacji dyfrakcji i interferencji tych fal.
Jak wiesz, odstęp między szczelinami siatki dyfrakcyjnej powinien być niewiele większy od długości fali. Obliczmy więc długość fali związanej z przykładowym elektronem poruszającym się z prędkością 500 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}}{5 \cdot 10^{5}\ \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}\ \text{kg}} = 1{,}5 \cdot 10^{-9}\ \text{m} = 1{,}5\ \text{nm}$$

Długość tej fali jest zbliżona do wielkości atomu. Tak więc aby wykazać falowe własności elektronów, należałoby zastosować siatkę dyfrakcyjną o odległości między szczelinami rzędu nanometrów. Nawet dzisiaj jej konstrukcja jest trudna, a w czasach de Broglie'a była zupełnie niemożliwa.
Na szczęście takich siatek nie trzeba wytwarzać – istnieją one w naturze. Jak wiesz, atomy w krysztale są ułożone regularnie (patrz rys. A). Dlatego kryształ może pełnić funkcję siatki dyfrakcyjnej dla strumienia elektronów.
W 1927 r. po raz pierwszy potwierdzono doświadczalnie, że strumień elektronów ulega dyfrakcji i interferencji podczas przejścia przez kryształ. Powstały obraz (patrz zdjęcie B), rejestrujący położenia elektronów po przejściu przez kryształ, dowodzi, że poruszający się elektron zachowuje się tak jak fala rozchodząca się w całej przestrzeni pomiędzy atomami.



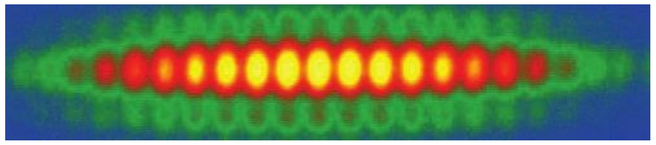
▲ Ułożenie atomów w krysztale tlenku talu



▲ Obraz interferencyjny powstały po przepuszczeniu wiązki elektronów przez kryształ tlenku talu

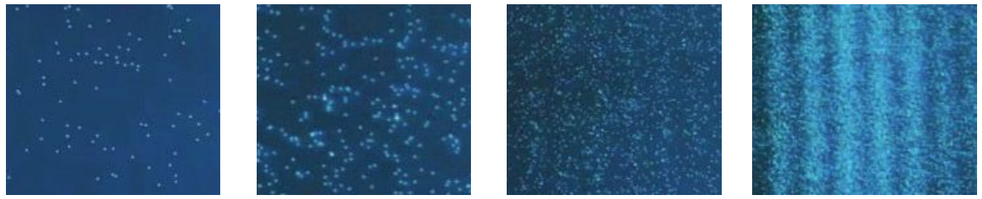
Falowa natura pojedynczej cząstki

Gdy obserwujemy interferencję wiązki elektronów, możemy – **błędnie!** – pomyśleć, że elektrony interferują ze sobą nawzajem. O tym, że jest to wyobrażenie błędne, możemy się przekonać za pomocą zmodyfikowanego doświadczenia Younga z dwiema szczelinami (patrz s. 170). Okazuje się, że takie doświadczenie fizycy potrafią już wykonać.



◀ Obraz interferencyjny z doświadczenia Younga dla elektronów (kolory są dobrane umownie)

Tym razem używamy źródła, które emituje pojedynczy elektron co sekundę. Natomiast ekran pokrywamy substancją, która trwale się przebarwia, kiedy pochłania elektron. Każdy elektron uderza w jedno konkretne miejsce i tworzy jedną plamkę. Po długim czasie wszystkie plamki tworzą prążki interferencyjne (patrz rys.), czyli układają się w obraz interferencyjny – bardzo podobny do tego, jaki jest tworzony przez światło.

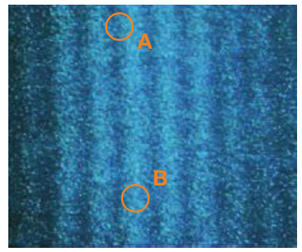


▲ Tworzenie obrazu interferencyjnego przez elektrony

Dzieje się tak, mimo że każdy kolejny elektron jest wysyłany dopiero po pochłonięciu poprzedniego, więc nie ma mowy o oddziaływaniu lecących razem elektronów. Tak więc:

> Nawet pojedyncza cząstka, np. elektron, ma naturę falową.

Fala materii związana z **pojedynczym** elektronem porusza się jednocześnie wieloma drogami i ulega dyfrakcji i interferencji.
Jak więc powstają prążki interferencyjne? Każdy elektron trafia w jedno losowe miejsce na ekranie, ale prawdopodobieństwo takiego zdarzenia jest różne dla różnych punktów. Tam, gdzie prawdopodobieństwo jest większe, trafia statystycznie więcej elektronów, i tam też tworzą się jasne prążki.
Analogicznie jest z fotonami – jeśli słaby laser emituje je pojedynczo na przesłonę z dwiema szczelinami, każdy trafia w jedno określone miejsce, ale dla dużej liczby fotonów te miejsca układają się w prążki interferencyjne.



▲ Szansa, że elektron trafi w kółko A, jest niewielka, więc trafiło tam niewiele elektronów. Szansa, że elektron trafi w kółko B, jest znacznie większa, więc trafiło tam znacznie więcej elektronów

Nie tylko elektrony

Jak się okazuje, zjawiskom dyfrakcji i interferencji podlegają wszystkie cząstki mikroświata, a ściślej biorąc: wszystkie obiekty we Wszechświecie – nawet tak duże jak piłeczki pingpongowe i my sami. Między światem klasycznym a mikroświatem nie ma żadnej wyraźnej granicy, od której zaczynałyby obowiązywać inne prawa fizyki. Zjawiska falowe o wiele trudniej wykrywa się dla ciał o dużych masach. Dlatego łatwiej i szybciej zaobserwowano dyfrakcję elektronów niż niemal dwa tysiące razy cięższych neutronów.
Najnowsze eksperymenty, których wyniki opublikowano w styczniu 2026 r., potwierdzają falową naturę bryłek sodu, zbudowanych z ok. siedmiu tysięcy atomów o łącznej masie ponad 170 000 razy większej od masy atomu wodoru.



▲ Długość fali de Broglie'a związanej z piłeczką pingpongową jest znacznie mniejsza od rozmiarów atomu, a nie tylko od oczek siatki. Dlatego piłeczka zatrzymuje się na siatce, a nie ulega na niej dyfrakcji i interferencji

Możemy więc podsumować nasze rozważania:

> Zarówno światło, jak i inne obiekty mikroświata w niektórych doświadczeniach zachowują się jak fale, a innym razem wykazują cechy cząstek.

W życiu codziennym nie zaobserwujemy jednak interferencji związanej np. z naszym przejściem przez gęsty las, pełniący funkcję siatki dyfrakcyjnej.
Aby wyjaśnić, dlaczego tak jest, obliczmy długość fali de Broglie'a dla obiektu makroskopowego – biegnącej myszy.

Przykład

Obliczanie długości fali materii

Oblicz długość fali materii odpowiadającej myszy o masie 3 g biegnącej z prędkością 1 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Porównaj uzyskany wynik z promieniem atomu wodoru, wynoszącym $5{,}3 \cdot 10^{-11}$ m.

Dane:
$m = 3\text{ g} = 0{,}003\text{ kg}$
$v = 1\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Szukane:
$\lambda = ?$



Rozwiązanie:
Długość fali materii obliczymy ze wzoru:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Wartość stałej Plancka znajdujemy w tablicach. Po podstawieniu danych liczbowych otrzymujemy:

$$\lambda = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}}{0{,}003\ \text{kg} \cdot 1\ \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 2210 \cdot 10^{-34}\ \text{m} = 2{,}21 \cdot 10^{-31}\ \text{m}$$

$$[\lambda] = \frac{\text{J} \cdot \text{s}}{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} \cdot \text{s}}{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot \text{s}}{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}}{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}} = \text{m}$$

Sprawdzimy, ile razy większy jest promień atomu wodoru od obliczonej długości fali:

$$\frac{r}{\lambda} = \frac{5{,}31 \cdot 10^{-11}\ \text{m}}{2{,}21 \cdot 10^{-31}\ \text{m}} = 2{,}4 \cdot 10^{20}$$

Odpowiedź: Fala materii odpowiadająca biegnącej myszy ma długość $2{,}21 \cdot 10^{-31}$ m. Jest ona $2{,}4 \cdot 10^{20}$ (czyli 240 miliardów miliardów) razy krótsza od promienia atomu wodoru.

Nic dziwnego, że nie obserwujemy myszy jako fali. Gdyby atom wodoru znajdujący się na Ziemi powiększyć tyle razy, ile razy mniejsza od niego jest długość tej fali materii, sięgałby w kosmos ponad 30 razy dalej niż na Księżyc (odległość od Ziemi do Księżyca wynosi niemal 400 000 km).

Nieprzewidywalność zjawisk

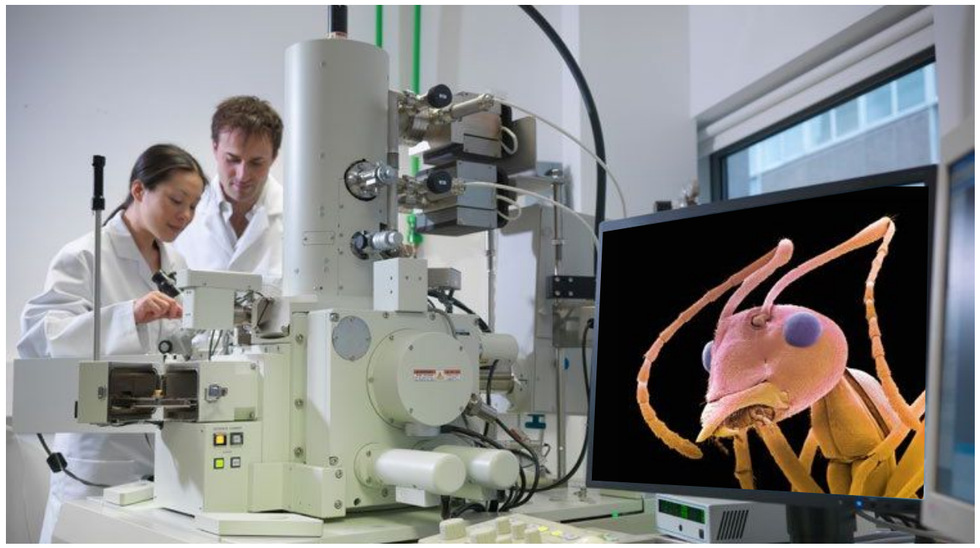


▲ Ruch kostki w bardzo dobrym przybliżeniu wynika z praw Newtona, mamy tylko za mało informacji, aby go przewidzieć

Stwierdziliśmy, że nie da się przewidzieć, w które miejsce ekranu trafi pojedynczy elektron albo foton.
Brak możliwości przewidzenia, jak zajdzie zjawisko, to ważna cecha mechaniki kwantowej odróżniająca ją od fizyki klasycznej, np. od praw Newtona, pozwalających dokładnie przewidzieć ruch ciała.
Wyobraź sobie rzut kostką. Zwykle myślimy o nim jako o zjawisku całkowicie losowym. Jednak jeśli pominiemy kwantową naturę obiektu tak dużego jak kostka, możemy stwierdzić, że gdybyśmy dokładnie znali jej prędkość, częstotliwość obrotu, umieli opisać sprężystość podłoża, na które spada itd. – wiedzielibyśmy, jaka liczba oczek wypadnie.
Inaczej jest w mikroświecie. Tutaj zjawiska kwantowe są wyraźnie widoczne, a więc wydarzenia są naprawdę losowe – ich wyniku nie da się przewidywać w żaden sposób. To odkrycie było trudne do przyjęcia dla wielu fizyków. Nie chciał się z nim zgodzić nawet Albert Einstein, który wyraził swoje wątpliwości słowami „Bóg nie gra w kości".

Mikroskop elektronowy

Dzisiaj zjawiska dyfrakcji i interferencji fal materii nie budzą już zdumienia fizyków, są wręcz wykorzystywane do ich codziennej pracy. Dzięki nim możemy zobaczyć obiekty tak małe jak wirusy, a nawet badać strukturę wielu związków chemicznych. Służy do tego **mikroskop elektronowy**, który opiera swoje działanie na istnieniu elektronowych fal materii. Jego rozdzielczość sięga 50 pm ($50 \cdot 10^{-12}$ m), więc można za jego pomocą dostrzec obrazy o rozmiarach porównywalnych z rozmiarami pojedynczych atomów (ich średnice wynoszą od 60 pm do 600 pm).



▲ W przypadku stosunkowo dużych obiektów, takich jak ta mrówka, mikroskop elektronowy pozwala na uzyskanie dużej głębi ostrości i oglądanie szczegółów obrazu

Mechanika kwantowa

Pod koniec XIX w. wydawało się, że w fizyce nie da się już dokonać wielu nowych odkryć. Do wyjaśnienia zostało tylko kilka szczegółów, m.in. promieniowanie termiczne i efekt fotoelektryczny.

W 1899 r. Max Planck udowodnił, że promieniowanie gorących ciał można poprawnie opisać, jeśli założymy, że emitują one energię w kwantach – porcjach o wielkości $E = hf$. Wkrótce Albert Einstein skorzystał z tego samego założenia, aby wyjaśnić efekt fotoelektryczny. Odkrycia te przyczyniły się wkrótce do powstania nowej teorii, zwanej **mechaniką kwantową**, opisującej podwójną, cząsteczkowo-falową naturę materii.

Mechanika kwantowa budzi zdumienie, ponieważ przewiduje zjawiska sprzeczne z naszą intuicją. Jedno z nich już znasz: elektron może interferować sam ze sobą i przemieszczać się ze źródła do detektora dwiema drogami jednocześnie. Inną ważną, a trudną do zrozumienia cechą zjawisk opisywanych przez mechanikę kwantową jest brak możliwości przewidzenia, jak one zajdą – można tylko określić prawdopodobieństwo określonego wyniku.

Prawa mechaniki kwantowej zostały potwierdzone nie tylko w tysiącach doświadczeń w laboratoriach fizyków, lecz także w praktycznych zastosowaniach. Komputer, telefon komórkowy i telewizor nie działałyby, gdyby założenia mechaniki kwantowej były błędne.

A pomyśleć, że Planckowi odradzano studia z fizyki, ponieważ w tej nauce miało już nie być nic do odkrycia!

▼ Jeśli chcesz na wyciągnięcie ręki mieć wszystkich najsłynniejszych fizyków – twórców mechaniki kwantowej – spójrz na to zdjęcie. Nazwiska podano rzędami od lewej strony.

A. PICARD, E. HENRIOT, P. EHRENFEST, E. HERSEN, T. DE DONDER, E. SCHRÖDINGER, E. VERSCHAFFELT, W. PAULI, W. HEISENBERG, R. H. FOWLER, L. BRILLOUIN,

P. DEBYE, M. KNUDSEN, W.L. BRAGG, H.A. KRAMERS, P.A.M. DIRAC, A.H. COMPTON, L. DE BROGLIE, M. BORN, N. BOHR,

I. LANGMUIR, M. PLANCK, M. SKŁODOWSKA-CURIE, H.A. LORENTZ, A. EINSTEIN, P. LANGEVIN, C.E. GUYE, C.T.R. WILSON, O.W. RICHARDSON



To najważniejsze

- Zarówno światło, jak i inne elementy mikroświata czasem zachowują się jak fale, a czasem wykazują cechy cząstek.
- Z falowej natury cząstek wynika fakt, że wielu zjawisk mikroświata nie da się przewidzieć, można obliczać tylko ich prawdopodobieństwo.
- Falowe własności mają również makroskopowe ciała, znane z życia codziennego, jednak ich falowa natura jest praktycznie niemożliwa do zaobserwowania.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Wskaż właściwe dokończenie zdań.

a) Jeśli obie cząstki poruszają się z tą samą prędkością, to dłuższa fala materii powstaje:

A. w przypadku elektronu.

B. w przypadku protonu.

b) Jeśli dwa protony poruszają się z różną prędkością, to większą długość fali będzie miała fala materii:

C. protonu wolniejszego.

D. protonu szybszego.

2. Do każdego zdania dobierz jego dokończenie z ramki. Zapisz całe zdania w zeszycie.

A. Pojedynczy foton przepuszczony przez siatkę dyfrakcyjną…

B. Można obliczyć…

C. Nie wiadomo…

D. Wiele fotonów po przejściu przez siatkę dyfrakcyjną…

…gdzie trafi dany foton.
…jakie będzie prawdopodobieństwo trafienia w określony obszar.
…trafia w jedno określone miejsce.
…tworzy prążki interferencyjne.

3. (i) Zdjęcie na dole s. 218. przedstawia uczestników Konferencji Solvaya w 1927 r., gromadzącej najwybitniejszych fizyków.

a) Czy umiesz kogoś z nich rozpoznać?

b) Przeczytaj nazwiska uczonych. O których z nich pisaliśmy w podręczniku? O których z nich wiesz z innych źródeł?

c) Obejrzyj film z tej konferencji, dostępny w serwisie YouTube pod tytułem „Solvay Physics Conference 1927”.

4. (P) Oblicz długość fali materii związanej z człowiekiem o masie 50 kg poruszającym się z prędkością 6 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ (szybki spacer).

5. Oblicz długość fali elektronu poruszającego się z prędkością 10 000 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Porównaj ją z długością fali światła widzialnego.

F

33 Promieniowanie termiczne



Jak myślisz, czy w budynku ze zdjęcia jest zamontowane ogrzewanie podłogowe czy wiszą kaloryfery?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak promieniują rozgrzane ciała.
- Nauczysz się oceniać po kolorze temperaturę dalekich gwiazd.

Co to jest promieniowanie cieplne

Mówiliśmy już o promieniowaniu cieplnym. To właśnie ono powoduje, że czujemy ciepło, gdy siedzimy przy ognisku (patrz zdjęcie), mimo że ciepłe powietrze znad płomienia przemieszcza się w górę, a nie na boki.
Przypomnijmy, że:

Sposoby przekazywania ciepła → s. 13



▲ Płomień świeci światłem widzialnym, ponieważ jest bardzo gorący

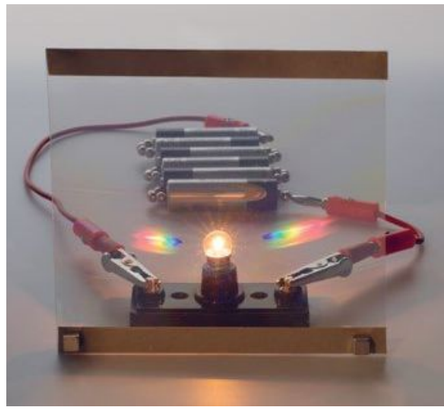
Promieniowaniem termicznym albo **cieplnym** nazywamy fale elektromagnetyczne wysyłane przez wszystkie rozgrzane ciała.

Tak więc określenie „cieplne” nie oznacza nowego rodzaju promieniowania, a jedynie mówi, jak to promieniowanie powstaje.
Rozgrzane ciało emituje promieniowanie o wielu różnych długościach fali, ale jedne – silniej, a inne – słabiej. W zależności od temperatury największa część energii promieniowania może przypadać na mikrofale, podczerwień, światło widzialne, ultrafiolet, a nawet promieniowanie rentgenowskie lub gamma.
Aby ocenić, jak wygląda ta zależność, przeprowadźmy proste doświadczenie.

Doświadczenie 20.

Badanie promieniowania termicznego

1. Przygotuj żarówkę 6,3 V, przewody, 9 baterii 1,5 V oraz siatkę dyfrakcyjną.
   Uwaga. Jeśli nie masz fabrycznej siatki, to weź płytę CD.
2. Podłącz żarówkę do pojedynczej baterii. Obserwuj światło żarówki przez siatkę dyfrakcyjną albo jego odbicie w płycie CD. Jakie barwy widać? Którą z nich widać najsilniej?
3. Powtórz obserwacje z punktu 2. dla żarówki podłączonej do dwóch, trzech, sześciu i dziewięciu baterii połączonych szeregowo. Jak zmieniają się twoje obserwacje w zależności od liczby baterii?



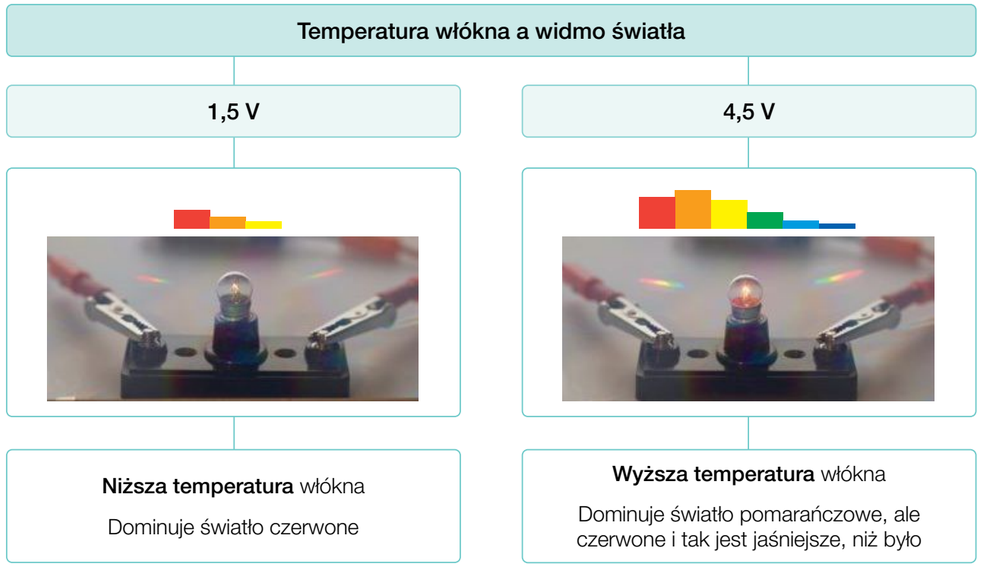
Analiza wyników doświadczenia

W doświadczeniu mogliśmy zaobserwować, że:

- światło żarówki składa się z różnych barw (fal o różnych długościach),
- dla jednej baterii, a więc dla stosunkowo niskiej temperatury włókna, dominuje światło czerwone, kolejne barwy są coraz słabsze, a fioletowej wcale nie widać,
- gdy podłączamy kolejne baterie, a włókno jest coraz bardziej rozgrzane, dominuje światło pomarańczowe, a przy większej liczbie baterii żółte, coraz lepiej widzimy też krótsze fale, łącznie z fioletem.

Długość fali, dla której moc promieniowania jest maksymalna, maleje wraz ze wzrostem temperatury ciała.

Zauważmy jednak, że gdy zmieniamy jedną baterię na trzy, to światło czerwone także staje się jaśniejsze, tyle że pomarańczowe wzmacnia się jeszcze bardziej, i to ono zaczyna dominować (patrz schemat poniżej).



Przykłady promieniowania cieplnego



Obiekty wokół nas, a także nasze ciała, promieniują przede wszystkim podczerwień. Pomiar długości fali dominującej w promieniowaniu skóry pozwala zmierzyć jej temperaturę.



Gdy zbliżymy dłoń do rozgrzanego żelazka, czujemy ciepło – naszą skórę rozgrzewa podczerwień emitowana przez to urządzenie.



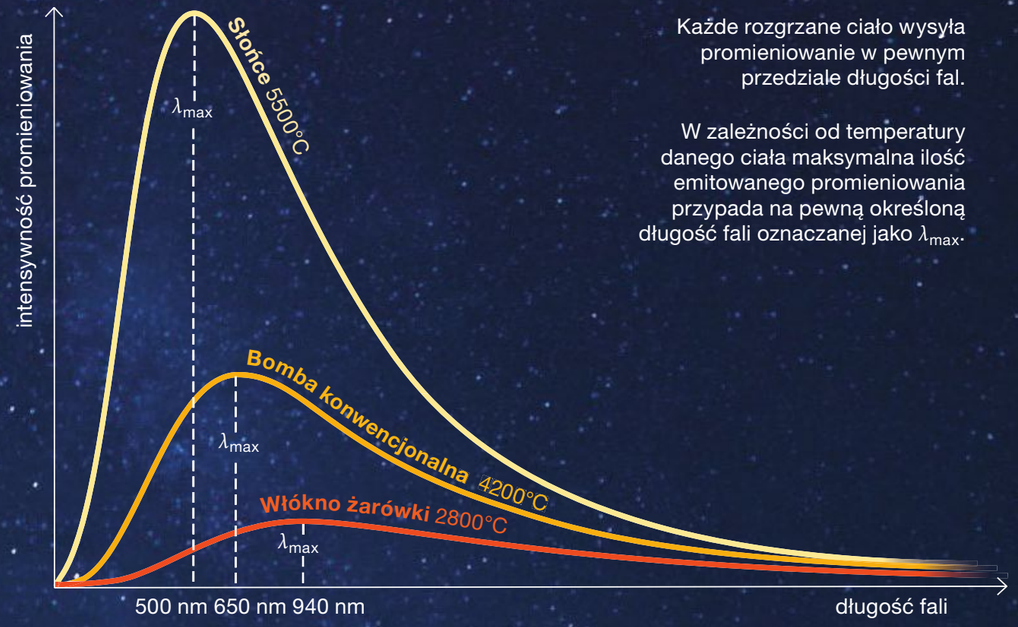
Żelazo rozgrzane do ok. 1000°C emituje głównie podczerwień, ale także nieco światła widzialnego, głównie czerwonego. Gdy rozgrzejemy ten metal jeszcze bardziej, jego promieniowanie obejmuje już wszystkie barwy światła widzialnego, które razem widzimy jako białe.



Także Słońce (na zdjęciu) świeci światłem białym. Gorętsze gwiazdy świecą na biało z odcieniem błękitu. Najgorętsze świecą bardzo jasno także w świetle widzialnym, ale w ultrafiolecie są jeszcze jaśniejsze.

Długość fali promieniowania termicznego

Słońce emituje światło widzialne o różnych barwach, a także nadfiolet i podczerwień. Jednak w nadfiolecie i podczerwieni świeci stosunkowo słabiej, a różne barwy światła widzialnego odbieramy łącznie jako światło białe.



Każde rozgrzane ciało wysyła promieniowanie w pewnym przedziale długości fal.

W zależności od temperatury danego ciała maksymalna ilość emitowanego promieniowania przypada na pewną określoną długość fali oznaczanej jako λ_{max}.

Okazuje się, że im wyższa temperatura ciała, tym mniejsze jest λ_{max}.

Jak wyznaczyć temperaturę gwiazdy?

Można ją obliczyć z zależności między długością fali λ_{max} a temperaturą – wystarczy zmierzyć, jakiego promieniowania (o jakiej długości fali) dana gwiazda emituje najwięcej.



Świat w kamerze termowizyjnej

Spójrzmy na obiekty z życia codziennego przez kamerę termowizyjną – urządzenie, które rejestruje promieniowanie podczerwone i wyświetla je w formie widzialnego dla nas obrazu. Różne kolory na obrazie oznaczają różne długości fali, czyli energie fotonów wysyłanych przez badane obiekty, co z kolei odpowiada różnym temperaturom. Na zdjęciu obok widzimy obszary o różnej temperaturze na ciele kozy: najcieplejsze są fragmenty odsłoniętej skóry, najchłodniejsze – pokryte futrem izolującym powierzchnię od ciepłego wnętrza kozy.
Przyjrzyj się zdjęciu na górze s. 220. Czy umiesz już odpowiedzieć na postawione tam pytanie?

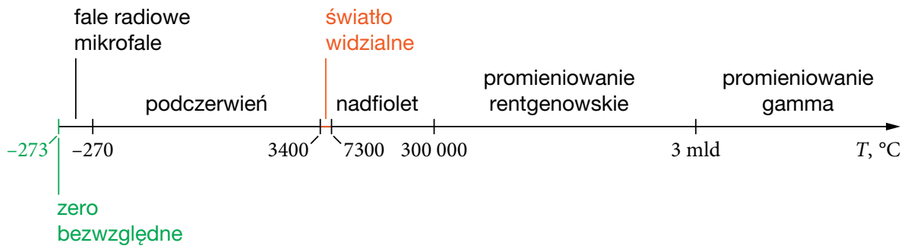


▲ Termowizyjne zdjęcie kozy

Długość fali odpowiadająca najsilniejszemu promieniowaniu

Przypomnijmy: gdy mówimy, że długość fali promieniowania cieplnego maleje wraz z temperaturą, musimy pamiętać, że chodzi o długość λ_{max}, dla której promieniowanie ma największą intensywność. Oczywiście ciało promieniuje także w innych długościach fali, tylko słabiej – patrz wykresy na poprzedniej stronie.

Orientacyjne zakresy promieniowania przedstawiono na schematycznym rysunku.



▲ Temperatura ciała a jego promieniowanie cieplne

Znaczenie historyczne

Próby wyjaśnienia zależności między temperaturą ciała a wysyłanym przez nie promieniowaniem zajęły fizykom drugą połowę XIX w. Powiodły się dopiero wtedy, gdy przyjęli oni, że ciała mogą wysyłać promieniowanie tylko w skończonych porcjach – **kwantach**, które dziś nazywamy **fotonami**.

Historycznie było to pierwsze z szeregu odkrywanych zjawisk, którego nie da się wytłumaczyć za pomocą falowej natury światła. Znasz już inne takie zjawiska: efekt fotoelektryczny oraz zjawiska chemiczne zachodzące pod wpływem promieniowania o dostatecznej częstotliwości, do których należy opalanie się pod wpływem ultrafioletu.

Max Planck – rewolucjonista mimo woli



▲ Medal Plancka

Niemiecki fizyk Max Planck, ojciec mechaniki kwantowej, wyjaśnił charakter zależności promieniowania ciała od jego temperatury dzięki założeniu, że nie promieniuje ono w dowolny sposób, ale wysyła energię w porcjach o wielkości hf. Stałą h nazwano później stałą Placka. Niemieckie Towarzystwo Fizyczne za wybitne osiągnięcia w dziedzinie fizyki przyznaje medal Plancka.

Początkowo Planck nie dostrzegł wagi swojego odkrycia: uważał, że stanowi ono tylko formalny wybieg pozwalający na uzyskanie właściwego wyniku, ale nie ma odbicia w rzeczywistości. Z czasem uczony – choć niechętnie – przekonał się do teorii kwantowej, jednak zdarzało mu się czasem powtarzać: „Nowa prawda naukowa nie zwycięża dlatego, że przekonuje swoich przeciwników, ale raczej dlatego, że jej przeciwnicy w końcu umierają i wyrasta nowe pokolenie, dla którego jest ona oczywista".



A tak o Plancku i jego odkryciu wyrażał się inny znany uczony – Max Born: „Z natury był umysłem konserwatywnym – nie miał nic z rewolucjonisty i pozostawał całkowicie sceptyczny wobec spekulacji. Jednak jego wiara w siłę logicznego rozumowania opartego na faktach była tak nieugięta, że nie cofnął się przed ogłoszeniem najbardziej rewolucyjnej idei, jaka kiedykolwiek wstrząsnęła fizyką".

◀ Albert Einstein odbierający nagrodę – medal Plancka od samego Plancka w lipcu 1929 r. W czasie tej samej uroczystości medal Plancka otrzymał... Planck

Max Planck (1858–1947) – był niemieckim fizykiem, laureatem Nagrody Nobla z 1918 r. Zajmował się nie tylko teorią kwantów, lecz także termodynamiką, optyką, energią, promieniowaniem ciała doskonale czarnego i teorią względności. Był również luterańskim teologiem i utalentowanym muzykiem – grał na fortepianie, organach, wiolonczeli oraz komponował.

Ciepłe światło?

Nietrudno zauważyć, że dostępne w sklepach żarówki LED różnią się między sobą temperaturą światła. Możemy wybrać oświetlenie określane jako ciepłe, czyli żółtawe, lub chłodne – białe, z domieszką błękitu.

Oprócz tego słownego opisu na opakowaniach takich żarówek podaje się także temperaturę barwy określoną w kelwinach. Przypomnijmy ze szkoły podstawowej, że kelwin (1 K) oznacza taką samą różnicę temperatur jak 1°C, ale w skali Kelwina nie ma temperatur ujemnych: 0 K to zero bezwzględne (ok. –273°C).

Żarówki o „ciepłej” barwie emitują światło zbliżone do promieniowania ciała o temperaturze ok. 2700 K (ok. 2400°C), neutralne – o temperaturze ok. 4000 K (ok. 3700°C), natomiast „zimna” barwa światła odpowiada temperaturze ok. 6500 K (ok. 6200°C).

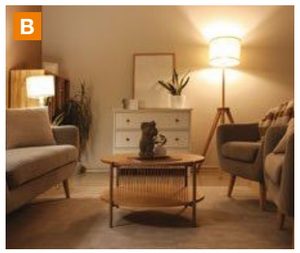
Nie oznacza to, że diody zawierają tak bardzo rozgrzane elementy – ich światło powstaje w inny sposób, a tylko przypomina światło ciała o podanej temperaturze.



▲ Temperatura barwy jest podana na opakowaniu żarówki LED

Jak widać, potoczne określenia „barwy ciepłe” i „barwy zimne” nie odpowiadają temperaturze ciała wysyłającego światło o takiej barwie. Zauważ jednak, że najcieplejsze obiekty życia codziennego świecą co najwyżej na czerwono lub żółto i rzadko mamy do czynienia z supergorącym błękitnym światłem. Za to błękitny odcień ma gruba warstwa lodu.





▲ Barwa światła wpływa na nasze samopoczucie

Zimne i ciepłe światło a nasze samopoczucie

„Zimne” światło o wysokiej temperaturze jest zbliżone do światła słonecznego w południe (zdjęcie A). Pozwala się więc skupić i zapobiega senności. Z kolei światło zwane potocznie „ciepłym” pozwala się zrelaksować i ułatwia zasypianie (patrz zdjęcie B i informacja o melatoninie w „A to ciekawe” na s. 209).

To najważniejsze

- Wszystkie ciała wysyłają **promieniowanie elektromagnetyczne**. Im wyższa temperatura ciała, tym wyższa częstotliwość emitowanych fal.
- Wyjaśnienie zależności między temperaturą ciała a częstotliwością emitowanych fal wymaga przyjęcia, że światło jest strumieniem cząstek.
- Ciała o temperaturze pokojowej emitują **maksimum promieniowania** w zakresie podczerwieni.

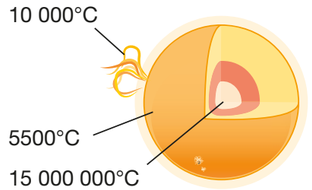
Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Zdjęcie przedstawia lawę wulkaniczną. W których miejscach jest ona najgorętsza?



2. Na rysunku przedstawiono temperaturę wnętrza Słońca, jego powierzchni oraz protuberancji, czyli fontanny gorącej plazmy. Jakiego rodzaju fale elektromagnetyczne są najczęściej emitowane na powierzchni, a jakie – w protuberancji?



3. Czy do oświetlenia przytulnej kawiarni wybierzesz żarówki LED opisane jako 2500 K czy 4000 K? A jaką żarówkę wybierzesz do oświetlenia biurka, przy którym się uczysz? Uzasadnij swoje odpowiedzi.

4. Podkowa, którą widzisz na zdjęciu, ma temperaturę ok. 600°C. W jakim zakresie widma mieści się maksimum promieniowania podkowy? Jak myślisz, czemu widzimy podkowę jako czerwoną?



5. (i) Pewna gwiazda emituje maksimum promieniowania w postaci fotonów o energii 4 eV. Jaka jest temperatura tej gwiazdy?

OBSERWACJA

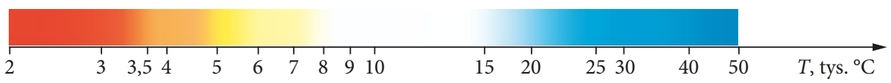
Barwy gwiazd

1. Posłuż się mapą nieba i z jej pomocą spróbuj odnaleźć na niebie gwiazdy o nazwach: Koza (zwana też Kapellą), Arktur, Aldebaran i Altair. Jeśli możesz, posłuż się lornetką.

2. Jeśli warunki obserwacji na to pozwolą, przypatruj się każdej z tych gwiazd na tyle długo, aby ocenić, jaką ma barwę. Opisz w zeszycie wyniki obserwacji.

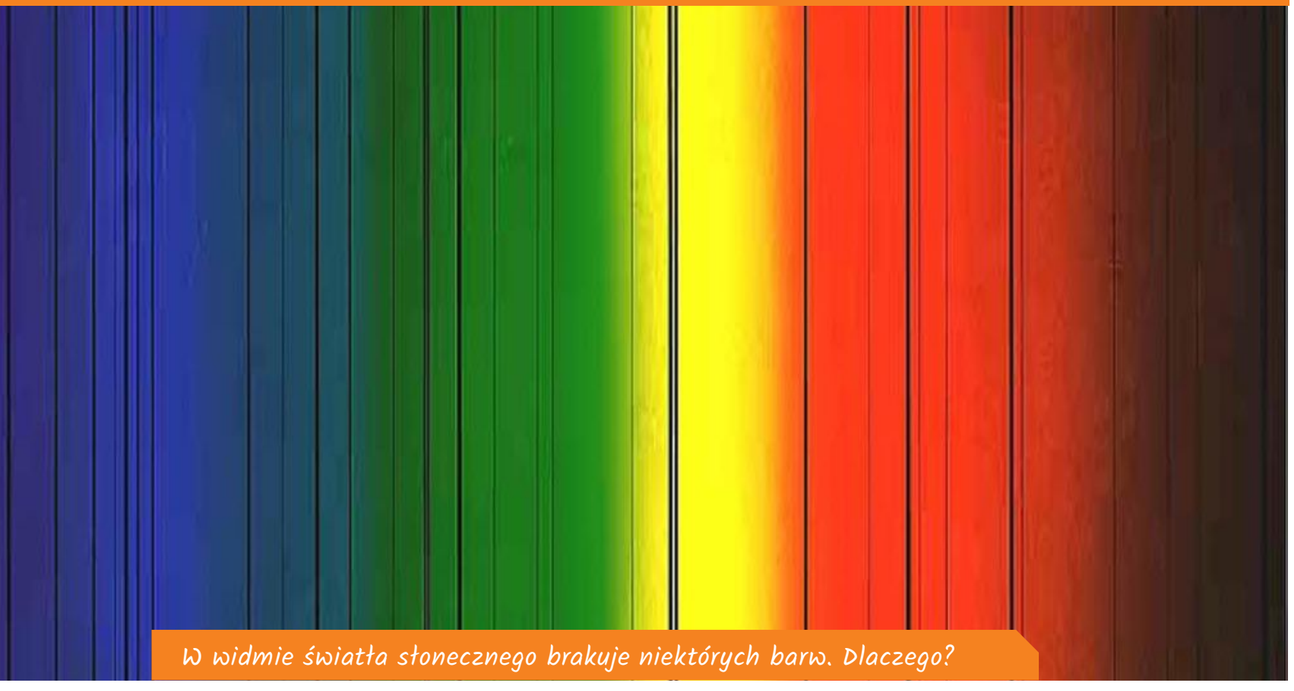
Uwaga. Oczywiście, w pierwszej chwili wszystkie gwiazdy wydadzą ci się białe. Dopiero po jakimś czasie zauważysz, że niektóre świecą światłem białobłękitnym, a inne są pomarańczowe lub czerwone.

3. Kolor gwiazdy świadczy o jej temperaturze. Oceń temperaturę powierzchni gwiazd na podstawie poniższego rysunku.



▲ Temperatura powierzchni gwiazdy w zależności od jej barwy

34 Widmo liniowe



W widmie światła słonecznego brakuje niektórych barw. Dlaczego?

Cele lekcji:

- Zbadasz nowy rodzaj widma promieniowania.
- Dowiesz się, jak poznajemy budowę gwiazd.

Informacje ze światła

Prawie wszystkie informacje o odległych obiektach docierają do nas dzięki wysyłanym przez nie falom elektromagnetycznym. Podczas tej lekcji dowiesz się, jak analiza tego promieniowania doprowadziła do poznania składu gwiazd, odkrycia nowych pierwiastków i przyczyniła się do zrozumienia budowy atomów.

Doświadczenie 21.

Jak świecą żarówki

1. Przygotuj siatkę dyfrakcyjną, lampkę, tradycyjną żarówkę, świetlówkę kompaktową (żarówkę energooszczędną).
2. Spójrz przez siatkę dyfrakcyjną na tradycyjną żarówkę (z rozgrzanym włóknem). Co obserwujesz?
3. Popatrz przez siatkę dyfrakcyjną na świetlówkę kompaktową. Jak zmienił się obraz?

Uwaga. Jeśli nie masz siatki dyfrakcyjnej, możesz popatrzeć, jak światło z poszczególnych źródeł odbija się od płyty CD (patrz zdjęcie obok). Na końcu tego rozdziału jest też opisany sposób, w jaki możesz zbudować własny spektroskop – urządzenie, które idealnie nadaje się do takich obserwacji.



Pierwsza część doświadczenia zapewne nie była dla ciebie zaskoczeniem. Siatka dyfrakcyjna pozwoliła rozdzielić światło na poszczególne barwy, czyli długości fal. Ciekawe jednak, że światło świetlówki, choć także wygląda na białe, to po rozdzieleniu na poszczególne barwy nie stworzyło płynnej tęczy – zobaczyliśmy tylko kilka kolorowych pasków, przedzielonych obszarami czerni (patrz rys.).



▲ Przykładowe widmo świetlówki kompaktowej

Pojęcie widma

Przypomnijmy ważne pojęcie z lekcji o falach elektromagnetycznych (s. 116):

> Promieniowanie wysyłane przez obiekt rozszczepione na poszczególne kolory nazywamy **widmem**.

Po łacinie i po angielsku widmo to *spectrum*, stąd pojęcia *spektroskopia* i *spektroskop*, a także określenia przenośne takie jak „spektrum poglądów” czy „spektrum uczuć”.

Widma ciągłe i liniowe

W doświadczeniu 21. najpierw obserwowaliśmy widmo ciągłe włókna żarówki.

> W **widmie ciągłym** poszczególne kolory światła płynnie przechodzą z jednego w drugi.

Widmo świetlówki, złożone z kilku osobnych barw, to przykład widma liniowego.

> W **widmie liniowym** obserwujemy tylko pojedyncze paski o różnych kolorach, zwane liniami widmowymi.

W jakich sytuacjach powstaje widmo ciągłe? Jak już wiemy z lekcji 33., jego przykładem jest widmo promieniowania emitowanego przez gęste rozgrzane ciało, a w praktyce – przez ciała takie jak gorące włókno żarówki, płomień zapałki albo Słońce. Zajmijmy się teraz powstawaniem widma liniowego.

A to ciekawe

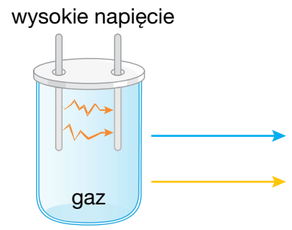
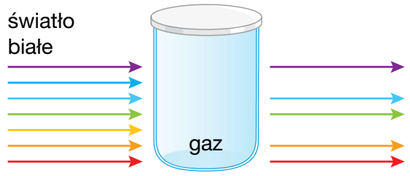
Do czego może służyć badanie widma? Gdy na miejscu przestępstwa policja znajdzie choćby śladową ilość niezidentyfikowanej substancji, sprawdza jej skład. Jeśli substancji jest zbyt mało do przeprowadzenia klasycznej analizy chemicznej, wtedy stosuje się analizę widma. Polega ona na badaniu promieniowania substancji doprowadzonej do postaci gazowej poprzez ogrzewanie. Pozwala to określić skład próbki i ułatwia ustalenie źródła jej pochodzenia.



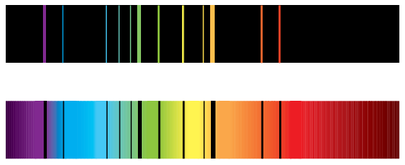
Widmo emisyjne i absorpcyjne

Widmo liniowe może powstawać w dwóch sytuacjach: gdy gaz świeci (tak jak w świetlówce w doświadczeniu 21.) i gdy gaz pochłania światło. Przeanalizuj diagram przedstawiający te możliwości.

Widmo liniowe

emisyjne	**absorpcyjne**
Powstaje wtedy, gdy	
pobudzamy atomy rozrzedzonego gazu do świecenia np. przez wyładowania elektryczne	przepuszczamy przez chłodniejszy gaz promieniowanie o widmie ciągłym
	
Gaz wysyła (emituje) światło złożone tylko z fal o niektórych długościach	Gaz absorbuje (pochłania) fale o długościach **takich samych** jak fale emitowane przez ten sam gaz pobudzony do świecenia. Inne długości fal gaz przepuszcza
 Powstałe widmo emisyjne składa się tylko z kilku jasnych linii	 Powstałe widmo absorpcyjne składa się ze wszystkich barw z wyjątkiem kilku

W widmie absorpcyjnym brakuje tych samych barw, które są obecne w widmie emisyjnym.

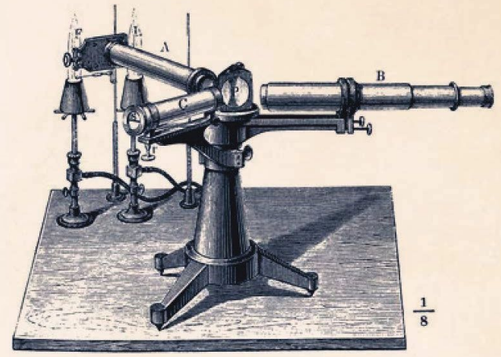


Podsumujmy:

> Gaz pobudzony do świecenia emituje promieniowanie o niewielu określonych długościach fali. Te same długości fali są pochłaniane przez gaz, przez który przepuścimy światło.

Tęcza z przerwami

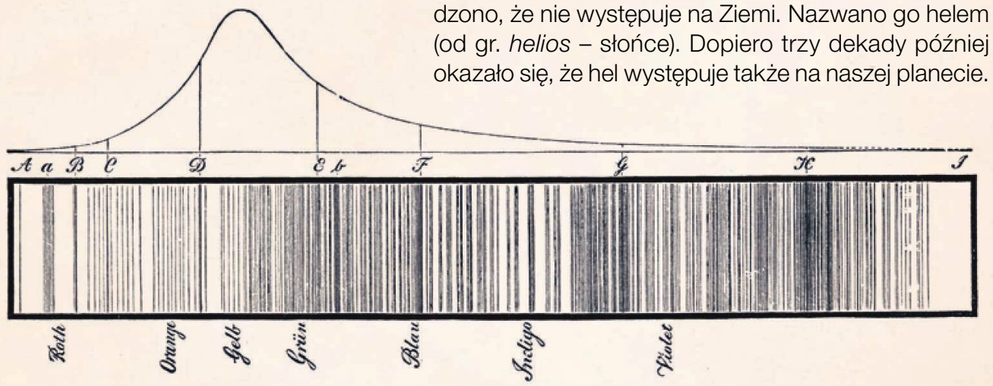
Gdy patrzymy na tęczę, nie widzimy w niej żadnych przerw. Jednak dokładniejsza analiza światła słonecznego za pomocą spektroskopu (przyrządu do obserwacji widma) pozwala dostrzec w jego widmie cienkie linie. Nazywamy je liniami Fraunhofera, od nazwiska badacza, który na początku XIX w. dokonał ich odkrycia.



▲ Spektroskop zbudowany przez Fraunhofera

W 1868 r. fizycy skojarzyli brakujące długości fal w widmie Słońca z liniami w widmie gazów i słusznie uznali, że powstają one w wyniku pochłaniania niektórych fal w zewnętrznych warstwach Słońca lub w atmosferze Ziemi. Dzięki temu ustalono, z jakich pierwiastków są zbudowane gwiazdy, w tym Słońce.

Przy okazji odkryto też nowy pierwiastek, o którym sądzono, że nie występuje na Ziemi. Nazwano go helem (od gr. *helios* – słońce). Dopiero trzy dekady później okazało się, że hel występuje także na naszej planecie.

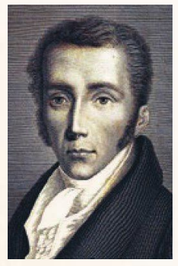


▲ Rysunek sporządzony przez Fraunhofera przedstawiający widmo słoneczne



▲ Linie Fraunhofera widoczne na barwnym widmie Słońca

Joseph Fraunhofer



Joseph Fraunhofer (1787–1826) urodził się jako jedenaste dziecko w ubogiej rodzinie i nie miał szans na naukę. Jako czternastoletni chłopak cudem ocalał z zawalonego budynku, w którym pracował. Książę Bawarii, wzruszony losem dziecka, dał mu pewną sumę pieniędzy. Joseph zainwestował ją w książki do matematyki i optyki oraz urządzenie do obróbki szkła. Wkrótce mimo braku formalnego wykształcenia został dyrektorem działu produkcji instrumentów optycznych. Ze względu na ochronę przed szpiegostwem przemysłowym część swoich badań prowadził na terenie zamkniętego klasztoru.

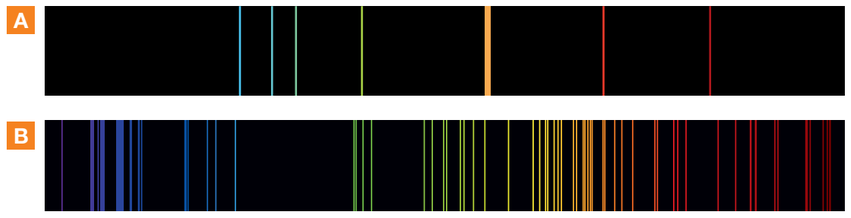
A to ciekawe

Badanie widm promieniowania ciał niebieskich pomoże nam zidentyfikować planety zdolne do podtrzymywania życia. Za pomocą kosmicznego teleskopu Webba, krążącego wokół Słońca ok. 1,5 mln km od Ziemi, zbadano widma światła dochodzącego z Marsa, Ziemi i Wenus. Zgodnie z przewidywaniami stwierdzono występowanie CO_2 na każdym z tych globów, ale wodę i ozon, powstający z tlenu atmosferycznego – tylko na Ziemi. Sprawdzona w ten sposób metoda pozwoli na poszukiwanie wody i ozonu także na planetach okrążających inne gwiazdy.



Każdy gaz ma własne widmo

Czy układy linii obserwowanych w widmie gazów są takie same dla różnych gazów? Jak się okazuje – nie.



▲ Widmo emisyjne węgla A oraz argonu B

Każda substancja w stanie gazowym ma unikalny układ linii widmowych, który pozwala ją zidentyfikować.

Przykład takiego widma przedstawiono na rysunkach powyżej.
Opisaliśmy, jak wygląda widmo liniowe, ale nie wyjaśniliśmy, dlaczego gaz wytwarza światło o takim widmie. Tym zajmiemy się w następnej lekcji.

To najważniejsze

- Promieniowanie rozszczepione na poszczególne barwy nazywamy **widmem**. Widma gęstych rozgrzanych ciał mają charakter ciągły.
- Atomy pobudzonych do świecenia rozrzedzonych gazów wysyłają i pochłaniają promieniowanie o ściśle określonych częstotliwościach – mają **widmo liniowe**. Każda substancja tworzy inne widmo.
- **Widmo emisyjne** powstaje, gdy atomy gazu pobudzone do świecenia, np. przez wyładowania elektryczne, wysyłają (emitują) światło.
- **Widmo absorpcyjne** tworzy się wtedy, gdy pomiędzy ciałem emitującym widmo ciągłe i obserwatorem znajduje się gaz pochłaniający (absorbujący) światło o określonych częstotliwościach.
- W widmie absorpcyjnym danej substancji brakuje pasm tych samych częstotliwości, które znajdują się w jej widmie emisyjnym.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Żarówka tradycyjna i świetlówka kompaktowa (żarówka energooszczędna) często wyglądają identycznie. W jaki sposób w warunkach domowych można rozpoznać, z którym rodzajem oświetlenia mamy do czynienia?
2. Mgławice emisyjne, takie jak na zdjęciu poniżej, to kosmiczne obłoki gazu, które świecą własnym światłem. Najczęściej zawierają dużo wodoru, emitującego światło w charakterystycznych liniach widmowych. Jedną z najsilniejszych linii emisyjnych wodoru jest linia H-α o długości fali ok. 656 nm. Jaki kolor jest widoczny dla ludzkiego oka wtedy, gdy mgławica emisyjna świeci głównie linią H-α?



Doświadczenie domowe

Sól i miedź w płomieniu



1. Przygotuj szczyptę soli, kilka centymetrów cienkiego miedzianego przewodu bez izolacji oraz kombinerki. Będziesz także potrzebować dostępu do kuchenki gazowej.
2. Złap kombinerkami miedziany przewód i umieść go w płomieniu gazowym. Przypatrz się płomieniowi: jakie barwy możesz w nim zauważyć?
3. Zwilż koniec kombinerek i dotknij nim soli, aby się przyczepiła, a następnie umieść sól w płomieniu. Jaka teraz jest barwa płomienia?
4. Znajdź widma miedzi, sodu i chloru (sól kuchenna to chlorek sodu). Możesz użyć np. darmowego programu Spektruś, dostępnego w internecie.
5. Które barwy z widma miedzi było widać w płomieniu? Czy barwa płomienia po umieszczeniu w nim soli to promieniowanie chloru czy sodu?

35 Oddziaływanie atomów ze światłem



Dlaczego miasta w pobliżu dużych obserwatoriów astronomicznych do oświetlania ulic powinny używać lamp sodowych?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak powstaje widmo liniowe gazu.
- Zrozumiesz, na czym polega zjawisko jonizacji.
- Zrozumiesz rolę uproszczonych modeli w fizyce.

Widmo liniowe a budowa atomu

Wiesz już, że pobudzony do świecenia gaz emituje promieniowanie o niewielu ściśle określonych częstotliwościach – jego widmo jest liniowe.
Teraz wyjaśnimy, **dlaczego** tak się dzieje. W tym celu odwołamy się do budowy atomu.

Uproszczony model atomu

Nasze rozważania będą miały bardzo uproszczony charakter, ponieważ budowę atomu można wyjaśnić w pełni tylko za pomocą mechaniki kwantowej.
W dużym uproszczeniu możemy sobie wyobrażać, że elektrony w atomie krążą wokół jądra, tak jak planety wokół Słońca. Jednak planeta może okrążać Słońce w dowolnej odległości. Z elektronem w atomie jest inaczej:

Elektrony mogą się znajdować w atomie tylko na określonych orbitach.



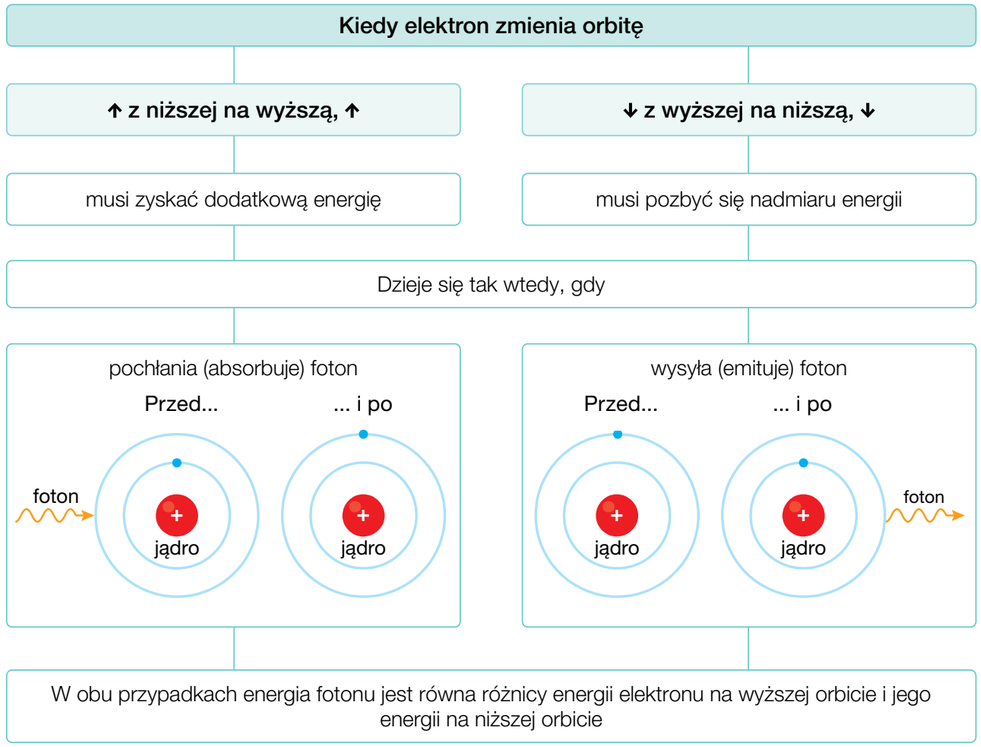
▲ Kolory fajerwerków zależą od widma spalanych w nich substancji

Energia elektronu w atomie

Energia elektronu zależy od jego odległości od jądra: im wyższa jest to orbita (czyli im dalej od jądra się znajduje), tym większa jest energia elektronu. Tak więc również energia elektronu w atomie nie może być dowolna.

Elektron w atomie nie może mieć dowolnej energii, ale musi mieć energię odpowiadającą orbicie, na której się znajduje.

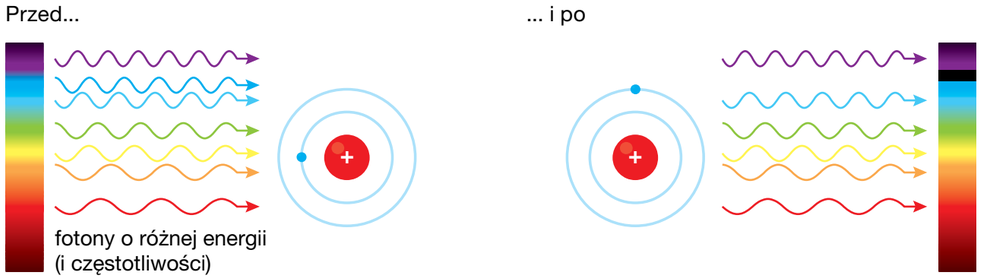
Stwierdzenie, że energia elektronu nie może przyjmować dowolnej wartości, ale tylko jedną spośród niewielu dopuszczalnych, jest prawdziwe nie tylko w naszym uproszczonym modelu, lecz także w świetle współczesnej fizyki.
Okazuje się, że wysyłanie i pochłanianie światła przez elektron w atomie wiąże się ze zmianą orbity – patrz diagram.



Powstawanie widma absorpcyjnego

Elektron na ogół znajduje się na pierwszej orbicie (najbliżej jądra). Nazywamy ją **orbitą podstawową**.
Jak wynika z wcześniejszych rozważań (patrz diagram), aby elektron przeskoczył na wyższą orbitę, musimy mu dostarczyć dodatkową energię. I to nie dowolną: musi mieć ona ściśle określoną wartość, równą różnicy energii elektronu na wyższej i pierwszej orbicie.

Jeśli na atomy pada światło, może ono zawierać fotony o odpowiedniej energii. Pochłaniające je elektrony przeskakują na wyższe orbity, a światło przechodzące przez gaz traci fotony o tej energii.
Natomiast fotony o innych energiach, niepasujących do danego atomu, nie są pochłaniane i przechodzą przez gaz bez przeszkód (patrz rys.).



▲ Atom gazu pochłania tylko fotony o pewnej energii

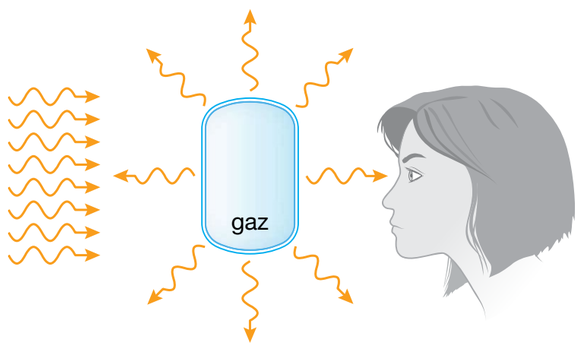
Obserwujemy wtedy widmo absorpcyjne: z całej świetlnej tęczy są usuwane wąskie prążki. Dlaczego prążki, a nie tylko jeden prążek? W widmie zaobserwujemy ubytek fotonów pochłanianych przez elektrony przeskakujące na wyższe orbity: z pierwszej na drugą, z pierwszej na trzecią, z drugiej na trzecią itd. Każdej z tych możliwości odpowiada inna energia, a więc – inny prążek widma.

Jak długo gaz może pochłaniać fotony

Nasz opis powstawania widma absorpcyjnego mógł wzbudzić twoje wątpliwości:

- Czy jeśli wszystkie elektrony wskoczą na wyższą orbitę, to gaz przestanie pochłaniać światło?
- A jeśli elektrony będą z powrotem spadać na niższe poziomy, to czy gaz zacznie świecić? Skąd więc czarne prążki?

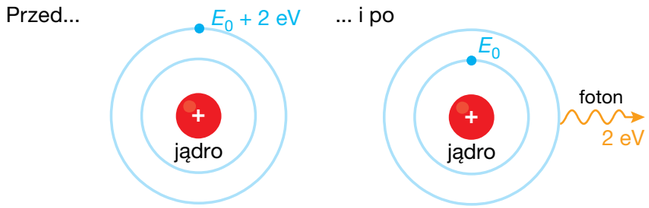
Faktycznie, elektrony spadają z powrotem na niższe poziomy i emitują fotony, często o tej samej energii. Ale wyemitowany foton może polecieć w dowolną stronę – niekoniecznie w kierunku, w którym leciał pochłonięty foton (patrz rys.). Dlatego do obserwatora dociera znacznie mniej fotonów o tej energii i odpowiadającej jej długości fali – stąd mamy ciemną linię w widmie.



◀ Gaz pochłania światło nadbiegające ze źródła (np. gwiazdy), ale emituje światło we wszystkie strony

Powstawanie widma emisyjnego

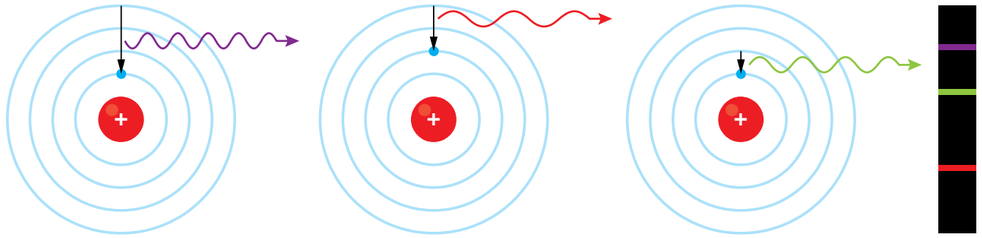
A jak powstaje widmo emisyjne? W pobudzonym do świecenia gazie wiele elektronów znajduje się na orbitach odległych od jądra. Dążą one do tego, aby mieć jak najniższą energię. Kiedy elektron pozbywa się nadmiarowej energii – czyli przeskakuje na niższą orbitę – musi wyemitować odpowiedni foton (patrz rys.).



Symbolem E_0 oznaczyliśmy energię elektronu na najniższej orbicie.

▲ Foton ma taką energię, jaką utracił emitujący go elektron

Elektron wracający z wysokiej orbity do stanu podstawowego może to zrobić na wiele sposobów: przeskakiwać po jednym poziomie albo skakać po kilka poziomów naraz. Emituje przy tym fotony o ściśle określonych energiach, a więc także o określonych długościach fali.

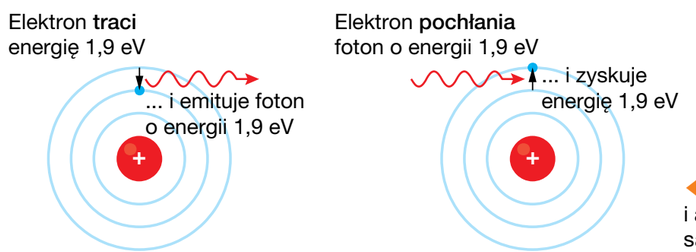


▲ Przeskoki między różnymi orbitami wiążą się z różną utratą energii, a więc z różnymi energiami emitowanych fotonów. Fotony o różnej energii tworzą widmo liniowe

Dzięki temu w widmie emisyjnym widzimy wiele jasnych prążków. Jeszcze większej liczby prążków nie widzimy gołym okiem, ale obserwujemy je w podczerwieni i nadfiolecie za pomocą odpowiednich urządzeń.

Dlaczego widmo absorpcyjne pasuje do emisyjnego

Możesz się już domyślić, dlaczego w widmie absorpcyjnym brakuje dokładnie tych samych barw, które są widoczne w widmie emisyjnym. Zarówno przy emisji, jak i przy absorpcji fotonu jego energia jest równa różnicy energii elektronu na dwóch orbitach (patrz rys. poniżej). A z energią fotonu jest związana barwa światła.



◀ Elektron emituje i absorbuje fotony o takiej samej energii

A to ciekawe

Badacze pracujący w wielkich obserwatoriach astronomicznych często proszą władze okolicznych miast, aby w latarniach instalowały lampy sodowe. Taka lampa emituje widmo przede wszystkim w dwóch wąskich paskach w żółtym zakresie widma. Oznacza to, że jeśli na teleskop obserwujący daleki kosmos nałożymy filtr nieprzepuszczający światła w liniach sodu, to cała reszta promieniowania z kosmosu pozostanie niezakłócona. Inne rodzaje oświetlenia ulicznego mają zwykle wielokolorowe widmo światła, zbliżone do widma słońca, dlatego w ich przypadku tej metody nie da się zastosować.



Czy przeskakuje tylko jeden elektron

Do tej pory mówiliśmy o jednym elektronie. Jednak w atomie (oprócz atomu wodoru) elektronów jest więcej, a każdy z nich może pochłonąć foton i przeskoczyć na wyższy poziom, o ile energia fotonu jest równa różnicy energii między danymi poziomami. Dlatego też widma gazów o wielu elektronach zawierają więcej linii niż widmo wodoru.

Energia jonizacji

Gdy elektron pochłonie foton o zbyt dużej energii, aby przeskoczyć na którąkolwiek z wyższych orbit, odrywa się od jądra i atom ulega jonizacji.

Energia jonizacji to minimalna porcja energii, jaką należy dostarczyć, aby trwale oderwać elektron od atomu znajdującego się w stanie podstawowym.

Jeśli energia pochłoniętego fotonu będzie wyższa od energii jonizacji, część z niej posłuży do oderwania elektronu od jądra, a reszta – dostarczy mu energii kinetycznej.



▲ Jonizacja atomu jest wywołana absorpcją fotonu o wysokiej energii

Jonizacja jest kolejnym zjawiskiem, które można wyjaśnić tylko z pomocą cząsteczkowej natury światła. Nawet bardzo jasne światło o zbyt małej częstotliwości fali nie wywoła jonizacji gazu, którą zaobserwujemy, jeśli oświetlimy go promieniowaniem o wystarczająco dużej częstotliwości (czyli większej energii fotonu).

Energia fotonu a nowotwory

Wyrywanie elektronów z atomów ma praktyczne znaczenie dla naszego zdrowia. Gdy taki atom wchodzi w skład cząsteczki chemicznej, zostaje zerwane wiązanie chemiczne. Takie uszkodzenie cząsteczek DNA w organizmie może powodować nowotwór.

Jednak wystarczającą do tego energię mają tylko fotony promieniowania ultrafioletowego, rentgenowskiego i gamma. W przypadku światła widzialnego, podczerwieni i mikrofal energia pojedynczego fotonu jest za mała, aby powodować jonizację.

Powstawanie widma ciągłego

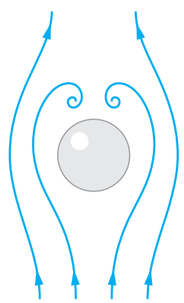
Atomy ciała stałego lub bardzo gęstego gazu również emitują fotony podczas przejścia elektronów z orbity wyższej na niższą. Jednak w tym przypadku oddziaływanie elektronów między atomami jest na tyle skomplikowane, że powstaje ogromna liczba linii widmowych, które się zlewają i tworzą widmo ciągłe.

Jaki model atomu wybrać

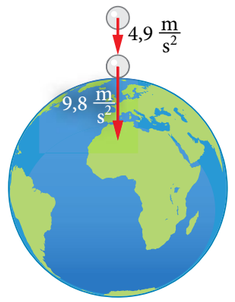
Do wyjaśnienia, jak powstaje widmo, używaliśmy bardzo uproszczonego modelu atomu. Pozwoliło nam to jakościowo (czyli bez opisu matematycznego) wyjaśnić powstawanie widma absorpcyjnego i emisyjnego.
Na początku XX w. powstał podobny, ale uzupełniony o stronę matematyczną model Bohra. Dzięki niemu możliwe stało się dokonywanie obliczeń, jednak tylko dla atomu wodoru, a przy tym opartych na założeniach, których uzasadnienia nie znano.

Różne modele zjawiska

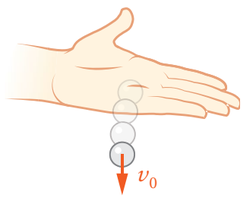
Wyobraź sobie, że masz obliczyć, z jaką prędkością uderzy w ziemię kulka upuszczona z wysokości 10 m. Najprościej jest przyjąć, że spada ona z przyspieszeniem $g = 9{,}81\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$, i na tej podstawie wyliczyć prędkość końcową. Ale czy taki wynik będzie prawdziwy? Jest przecież wiele czynników, które mogą zmienić czas spadania.



Na kulkę działa opór powietrza



Przyspieszenie ziemskie zależy od wysokości



A może kulka nie została upuszczona, ale niechcący nadaliśmy jej pewną prędkość początkową?

Które z tych czynników uwzględnić?

1. Musimy oszacować, jak duży wpływ mają te czynniki na wynik. Na przykład zmiana przyspieszenia ziemskiego przy różnicy wysokości 2 m jest niezauważalna, natomiast upuszczenie kulki z poruszającej się dłoni już może spowodować znaczną różnicę czasu spadania.
2. Musimy ustalić, jak dokładnego wyniku potrzebujemy i do czego go później użyjemy. Nie ma sensu wykonywać obliczeń z dokładnością do milionowej części sekundy, jeśli potem mamy je zaokrąglić do pełnych sekund.

W większości przypadków wystarczy nam najprostsze rozwiązanie.

Chociaż obecnie zjawiska mikroświata lepiej wyjaśnia nowsza i bardziej ogólna teoria – mechanika kwantowa, to opisane wyżej modele nadal umożliwiają ich poglądowe wyobrażenie.
Czy więc stare modele budowy atomu są poprawne?
Z modelami opisującymi atom jest podobnie jak z innymi modelami (patrz ramka „Różne modele zjawiska" na poprzedniej stronie) – najczęściej wystarczy posługiwać się modelem przybliżonym.

> Fizycy tworzą coraz dokładniejsze modele opisujące otaczający świat, uwzględniające coraz więcej znanych faktów.

Nie oznacza to jednak, że zawsze musimy korzystać z najnowszych i najbardziej zaawansowanych modeli. Często wystarczy model prostszy i łatwiejszy do zrozumienia.

To najważniejsze

- Elektron w atomie może się znajdować tylko **na jednej ze ściśle określonych orbit**. Każdej orbicie odpowiada określona energia elektronu.
- Elektron przeskakujący między dwiema orbitami **emituje** lub **pochłania** foton, którego energia jest równa różnicy energii tego elektronu na obu orbitach.
- W wyniku pochłonięcia fotonu o odpowiednio dużej energii atom można **zjonizować** – elektron może uwolnić się z atomu. Zamiast atomu pozostanie dodatnio naładowany **jon**.

Pytania i zadania ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Dobierz zakończenia zdań do ich początków. Do jednego początku może pasować więcej niż jedno zakończenie. Zapisz wszystkie powstałe zdania w zeszycie.

A. Energia elektronu w atomie…
B. Elektron emituje foton…
C. Elektron absorbuje foton…
D. Elektron nie może pochłonąć dowolnego fotonu…

I. … gdy jego energia się zwiększa.
II. … może przyjmować tylko ściśle określone wartości.
III. … ale tylko taki, który pozwala elektronowi wskoczyć na określoną orbitę albo zjonizować atom.
IV. … jest inna na każdej orbicie.
V. … gdy przeskakuje na niższą orbitę.
VI. … gdy przeskakuje na wyższą orbitę.
VII. … gdy jego energia się zmniejsza.
VIII. … nie może być dowolna.

2. Wyobraź sobie elektron poruszający się po orbicie 4. Z czasem powróci on na orbitę 1. Na ile sposobów może do tego dojść? Narysuj wszystkie możliwości i podaj liczbę fotonów emitowanych w każdym przypadku.

3. Lampa sodowa, opisana w ramce „A to ciekawe", emituje tylko światło żółte. Naszkicuj w zeszycie, jak wygląda w takim świetle dom z ilustracji poniżej.



36 Budowa jądra atomowego



Dlaczego jądra atomów, z których jest zbudowane wszystko, co widzisz, nie rozpadają się pod wpływem odpychania elektrycznego między protonami?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak jest zbudowane jądro atomowe.
- Nauczysz się rozpoznawać poszczególne pierwiastki na podstawie budowy ich atomów.
- Dowiesz się, dlaczego różne izotopy tego samego pierwiastka mają jednakowe właściwości chemiczne.

Odkrycie jądra atomowego

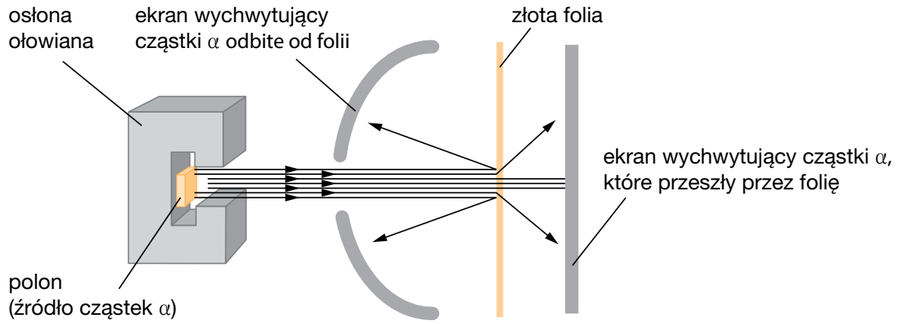
Dotychczas rozmawialiśmy o zjawiskach, w których atom przedstawialiśmy jako dodatnio naładowane jądro, wokół którego poruszają się elektrony. Jak jednak wygląda samo jądro atomowe?
Jeszcze na początku XX w. nie wiedziano nawet, że ono istnieje. Wyobrażano sobie, że atom wypełniony jest ciągłą substancją naładowaną dodatnio, w której – jak rodzynki w cieście – zanurzone są elektrony. Dopiero w 1911 r. Ernest Rutherford wykonał doświadczenie, które pozwoliło poznać strukturę atomu. Naukowiec badał w nim odchylenie toru posiadających dodatni ładunek **jąder helu**, zwanych także **cząstkami alfa** (α), podczas bombardowania nimi bardzo cienkiej złotej folii. Przyjrzyj się schematowi tego doświadczenia na następnej stronie.



▲ Urodzony w Nowej Zelandii Ernest Rutherford (1871–1937) był pierwszym noblistą pochodzącym z Oceanii

Większość cząstek alfa przechodziła przez folię bez zmiany kierunku, co sugerowało, że atom złota jest niemal pusty w środku. Jednak część cząstek alfa odchylała się od swojego toru ruchu, a niektóre – odbijały się pod kątem niemal 180°. Jak wspominał Rutherford: „to było tak, jakby piętnastocalowy pocisk wystrzelony w kawałek bibułki odbił się od niej i trafił w strzelającego".

Takie odchylenie wskazywało, że cząstki alfa musiały napotkać na swojej drodze duży ładunek skupiony w bardzo małej objętości. Rutherford założył, że był to ładunek dodatni (potwierdziły to późniejsze doświadczenia). Obszar atomu, w którym się on znajduje, nazwano **jądrem atomowym**.



▲ Schemat doświadczenia Rutherforda

Budowa jądra

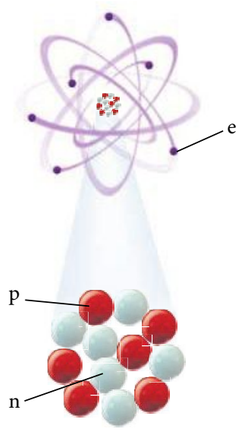
Dziś już wiemy, że jądro atomowe składa się z dodatnio naładowanych protonów i obojętnych elektrycznie neutronów.
Te dwa rodzaje cząstek łącznie nazywamy **nukleonami** (od łac. *nucleus* – jądro).

Protony we wszystkich atomach są identyczne, podobnie neutrony i elektrony. Atomy różnych pierwiastków różnią się między sobą tylko liczbą poszczególnych składników. Przykładowo najpospolitszy atom sodu składa się z 11 protonów, 12 neutronów i 11 elektronów, a atom naturalnego złota ma 79 protonów, 118 neutronów i 79 elektronów.

> W każdym niezjonizowanym atomie liczba elektronów poruszających się wokół jądra jest taka sama jak liczba protonów w jądrze.

Dzięki temu atom jest obojętny elektrycznie.

Średnica atomu węgla ^{12}C to $1{,}4 \cdot 10^{-10}$ m, a jego jądra to ok. $5{,}5 \cdot 10^{-15}$ m, czyli 25 500 razy mniej.



▲ Model atomu węgla i jego jądra, oznaczenia:
e – elektron, p – proton,
n – neutron

Siły jądrowe

Protony w jądrze odpychają się siłami elektrostatycznymi, ponieważ wszystkie mają ładunek dodatni. Dlaczego zatem jądro się nie rozpada? Otóż między nukleonami działają jeszcze **siły przyciągania jądrowego**, które równoważą oddziaływania elektrostatyczne. Siły te działają na bardzo małą odległość – praktycznie tylko między kilkoma sąsiednimi nukleonami.



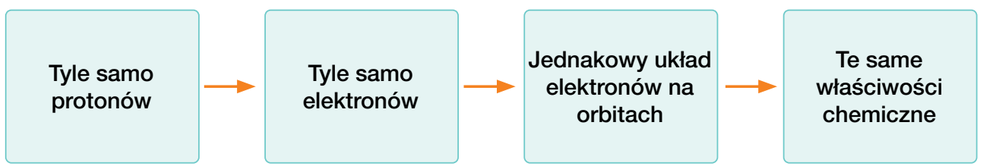
▲ Siły jądrowe utrzymują nukleony w środku jądra A. Siły elektrostatyczne próbują rozerwać jądro B

Izotopy

Gdybyśmy mogli spojrzeć na atomy przez mikroskop o dostatecznie dużym powiększeniu i policzyć protony w jądrze, rozpoznalibyśmy, jaki pierwiastek obserwujemy. Przykładowo jądro wodoru zawiera tylko jeden proton, jądro żelaza – 26 protonów, a jądro uranu – aż 92 protony.
Czy wszystkie jądra danego pierwiastka są identyczne? Niekoniecznie: mogą się różnić liczbą neutronów.
Takie odmiany atomów tego samego pierwiastka nazywamy **izotopami**. Ta nazwa pochodzi z greki i dosłownie oznacza „to samo miejsce" – chodzi o to samo miejsce w układzie okresowym.

> Poszczególne izotopy danego pierwiastka mają tę samą liczbę protonów w jądrze, ale różnią się liczbą neutronów.

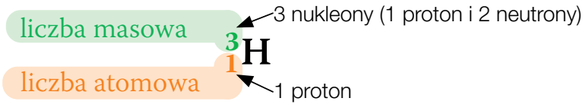
Właściwości chemiczne pierwiastka wynikają z oddziaływań elektronów, a ponieważ atomy różnych izotopów tego samego pierwiastka mają tyle samo elektronów, więc mają także jednakowe właściwości chemiczne (patrz diagram).



Na przykład każdy z izotopów wodoru przedstawionych w ramce na następnej stronie może łączyć się z tlenem i tworzyć wodę. W wodzie z kranu w każdym milionie atomów wodoru znajduje się średnio 156 atomów deuteru.

Symbole izotopów

Aby dokładnie określić skład jądra atomowego, podajemy symbol chemiczny pierwiastka, a obok niego dwie liczby: **liczbę atomową**, informującą o tym, ile protonów zawiera jądro, oraz **liczbę masową**, określającą łączną liczbę protonów i neutronów, np.:



Ponieważ wszystkie izotopy danego pierwiastka mają tę samą liczbę atomową, czasami podaje się tylko liczbę masową. Na przykład $^{2}_{1}H$ (deuter) określamy jako ^{2}H albo wodór-2.

Liczbę atomową można odczytać z układu okresowego pierwiastków (s. 354).

Natomiast masa atomowa podana w układzie okresowym to średnia ważona mas atomów różnych izotopów występujących w przyrodzie z wagami odpowiadającymi częstości ich występowania. Dlatego może ona być ułamkiem, w odróżnieniu od liczby masowej izotopu.

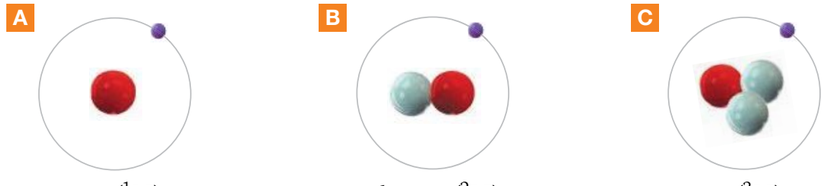


▲ Jądro: A najczęściej występującego izotopu węgla $^{12}_{6}C$ (6 protonów i 6 neutronów), B rzadziej występującego izotopu $^{14}_{6}C$ z dwoma dodatkowymi neutronami (6 protonów i 8 neutronów)

Izotopy wodoru

Na ilustracjach przedstawiono schematycznie trzy izotopy wodoru: na czerwono zaznaczono proton, na fioletowo – elektron, a neutrony zostały zaznaczone na biało.

Jądro najczęściej występującego izotopu wodoru to pojedynczy proton (taki wodór nosi nazwę prot, rys. A). Jednak atomy wodoru mogą mieć w jądrze dodatkowo jeden neutron (taki wodór nazywa się deuter, rys. B) lub dwa neutrony (taki wodór to tryt, rys. C). Elektronów w atomie jest zawsze tyle samo, ile protonów, czyli w przypadku wodoru – jeden.



Przykład 1

Rozpoznawanie pierwiastka

W skład jądra pewnego atomu wchodzi 7 protonów i 8 neutronów. Jakiego pierwiastka jest to izotop? Zapisz jego symbol.

Rozwiązanie:

Dla stwierdzenia, z jakim pierwiastkiem mamy do czynienia, ma znaczenie tylko liczba protonów, czyli liczba atomowa.

Sprawdzamy w układzie okresowym, że taka liczba oznacza azot.

Liczba masowa jest równa łącznej liczbie protonów i neutronów, wynosi zatem:

$$7 + 8 = 15$$

Odpowiedź: Symbol tego izotopu azotu to $^{15}_{7}N$.

Przykład 2

Wyznaczanie liczby neutronów

Najczęściej spotykany izotop uranu oznaczamy symbolem $^{238}_{92}U$. Ile neutronów zawiera jego jądro?

Rozwiązanie:

Przedstawiony w treści zadania zapis oznacza, że liczba atomowa tego izotopu uranu jest równa 92, a jego liczba masowa to 238. W jądrze znajdują się zatem 92 protony, a protonów i neutronów jest łącznie 238. Liczba neutronów wynosi więc:

$$238 - 92 = 146$$

Odpowiedź: Jądro tego izotopu uranu zawiera 146 neutronów.

A to ciekawe

Proton, neutron i elektron (podobnie jak inne cząstki, o których tu nie mówimy) mają swoje antycząstki, czyli cząstki do nich podobne, o takiej samej masie i – o ile cząstka jest naładowana – przeciwnym ładunku. Takie dwie cząstki mogą powstać z fotonów. Obecnie w laboratoriach fizycy wytwarzają antyatomy wodoru, w których wokół antyprotonu krąży antyelektron. Bada się też zbudowane z antyprotonów i antyneutronów jądra antyhelu. Przechowywanie antymaterii nie jest łatwe, ponieważ zderzenie antycząstki z odpowiadającą jej cząstką powoduje zniknięcie obu tych obiektów (anihilację) i wytworzenie olbrzymiej ilości energii, najczęściej w postaci wysokoenergetycznych fotonów. Na szczęście we Wszechświecie antymaterii jest bardzo mało. Na zdjęciu widzisz ślady zostawione przez nowo powstałe pary cząstka-antycząstka w komorze do badania takich obiektów.



To najważniejsze

- Jądro atomowe składa się z **protonów** i **neutronów**. Jądro otaczają **elektrony**, których liczba jest równa liczbie protonów w jądrze.
- Atomy tego samego pierwiastka mają tyle samo protonów w jądrze, ale mogą się różnić liczbą neutronów. Mówimy wtedy o różnych **izotopach** tego samego pierwiastka.
- **Liczba atomowa** jest równa liczbie protonów w jądrze, a **liczba masowa** to łączna liczba protonów i neutronów.
- W jądrze między nukleonami działają **siły przyciągania jądrowego**. Równoważą one odpychające siły elektrostatyczne działające między protonami.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

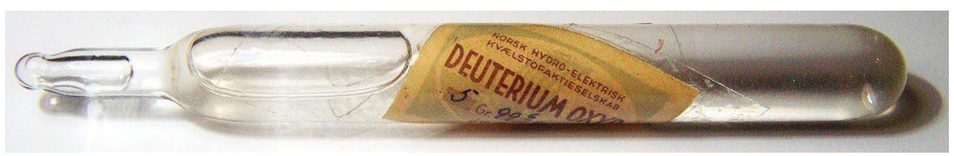
1. Znajdź w układzie okresowym pierwiastek, którego:
- **a)** jądro zawiera 5 protonów i 5 neutronów,
- **b)** liczba atomowa wynosi 12,
- **c)** liczba masowa wynosi 250, a jądro zawiera 154 neutrony.

2. Na rysunkach kolorem czerwonym oznaczono protony, a białym – neutrony. Zapisz symbole zilustrowanych izotopów. Podaj nazwy pierwiastków.

a) 

b) 

c) 



3. Narysuj schematycznie jądra izotopów litu o liczbie masowej 6 i 7. Zapisz ich symbole.

4. Czy niezjonizowane atomy różnych izotopów tego samego pierwiastka mogą się różnić liczbą elektronów? Dlaczego?

5. Jeśli w cząsteczce wody przynajmniej jeden z atomów wodoru został zastąpiony przez deuter, to nazywamy ją ciężką wodą. Jak myślisz, w jaki sposób można oddzielić ciężką wodę od zwykłej? Swoje przypuszczenia skonfrontuj z informacjami z internetu.

37 Promieniowanie jądrowe



Jak można się uchronić przed dużymi dawkami promieniowania?

Cele lekcji:
- Dowiesz się, jakie znamy rodzaje promieniowania jądrowego.
- Poznasz sposoby ochrony przed jego poszczególnymi rodzajami.

Co to jest promieniowanie

Gdy dotychczas mówiliśmy o promieniowaniu, na ogół mieliśmy na myśli promieniowanie elektromagnetyczne, czyli fale elektromagnetyczne. Nie jest to jednak jedyny rodzaj promieniowania – ogólnie **promieniowaniem** nazywamy każdy strumień cząstek. Przykładowo strumień neutronów to promieniowanie neutronowe, a cząstki przemierzające Wszechświat nazywamy promieniowaniem kosmicznym.

Promieniowanie powstające w jądrach atomowych nazywamy promieniowaniem jądrowym.

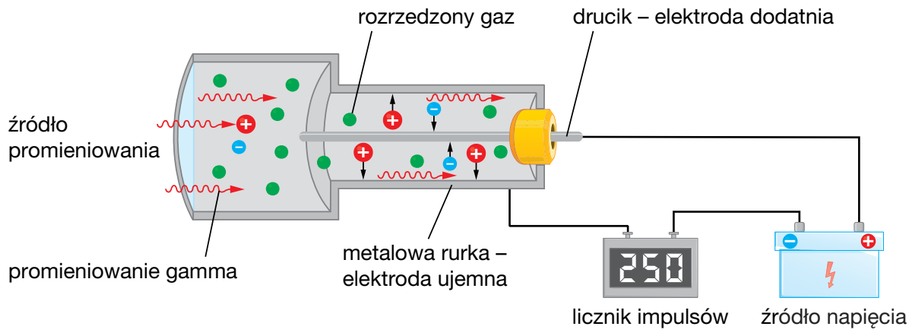
Pomimo że dla nas jest zwykle niewidoczne, promieniowanie odgrywa w świecie niezwykle istotną rolę. Przekazuje ono na duże odległości energię i informację o wysyłających je obiektach.
Promieniowanie jądrowe jest w dużych dawkach niebezpieczne dla organizmów żywych i wtedy trzeba się przed nim chronić, ale ma też szerokie zastosowania w nauce, technice i medycynie. Poznasz je w trakcie tej i następnych lekcji.



▲ Banany zawierają dużo potasu, a część tego pierwiastka stanowi promieniotwórczy potas-40, ale w tej ilości nie jest on szkodliwy dla zdrowia

Wykrywanie promieniowania jądrowego

Do wykrywania i pomiaru promieniowania służy m.in. licznik Geigera–Müllera (patrz rys. poniżej).



▲ Schemat licznika Geigera–Müllera

Licznik tworzy szklana bańka, wypełniona rozrzedzonym gazem, w której znajdują się elektrody: ujemna w postaci metalowej rurki oraz dodatnia w postaci drucika. Do elektrod jest stale przyłożone wysokie napięcie.
Gdy do szklanej bańki wpadnie cząstka promieniowania, jonizuje ona atomy gazu i umożliwia wyładowanie – krótki przepływ prądu między elektrodami.
Dzięki zliczaniu wyładowań możemy oszacować liczbę cząstek trafiających w licznik, czyli ocenić, jak silne jest promieniowanie.

Badanie promieniowania

Jeśli w waszej szkolnej pracowni fizycznej znajduje się licznik Geigera–Müllera, możecie zbadać promieniowanie otaczających was przedmiotów.

Doświadczenie 22.

Promieniotwórczość wokół nas

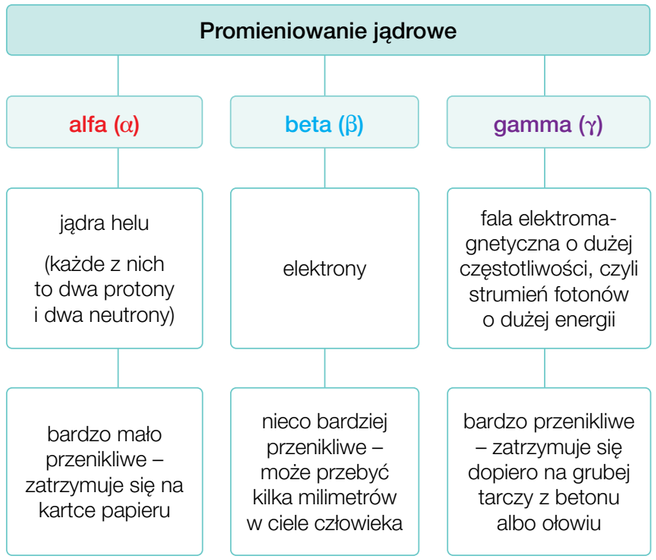
1. Przygotuj licznik Geigera–Müllera oraz różne substancje, np. próbki granitu lub innych skał, sól z potasem albo leki zawierające potas, warzywa, suszone grzyby, wodę. Jeśli to możliwe, przygotuj także zegarek z fosforyzującymi wskazówkami pochodzący sprzed 1960 r.
2. Po włączeniu licznika ustaw jego zakres tak, aby reagował nawet nieprzyłożony do żadnych próbek.
3. Sprawdź, jak zachowuje się licznik zbliżony do różnych substancji, które przygotowałeś, oraz do ścian, a także do ciała człowieka. Co zauważasz?

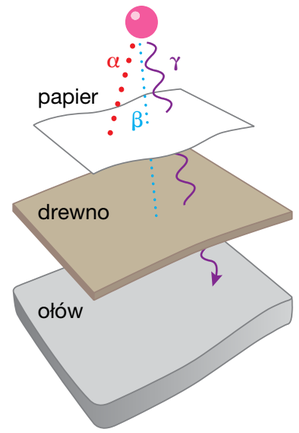


Dzięki temu doświadczeniu można się przekonać, że z promieniowaniem mamy do czynienia stale, ponieważ wiele otaczających nas substancji promieniuje.

Rodzaje promieniowania jądrowego

Wśród rodzajów promieniowania jądrowego największe znaczenie mają trzy wymienione w diagramie. Na rysunku obok pokazano zasięg poszczególnych rodzajów tego promieniowania.





▲ Zasięg promieniowania alfa, beta i gamma

Zastosowanie promieniowania

Z urządzeniami wykorzystującymi promieniowanie jądrowe możemy się zetknąć nawet w domu.

- Niektóre czujniki dymu zawierają niewielkie ilości izotopów promieniotwórczych. Wykorzystują one pochłanianie promieniowania alfa przez dym.
- Żywność możemy sterylizować taką dawką promieniowania, aby bakterie zostały zniszczone, ale sama żywność nie stała się promieniotwórcza. Dzięki temu unikamy stosowania konserwantów chemicznych, a jednak produkty się nie psują.
- Promieniowanie gamma służy do diagnostyki i do zwalczania komórek nowotworowych (radioterapii). Więcej na ten temat powiemy w kolejnej lekcji.
- Wiele izotopów promieniotwórczych wykorzystujemy w przemyśle. Wysyłanym przez nie promieniowaniem prześwietla się różne substancje i uwydatnia ich strukturę. Dzięki temu można wykryć różnego rodzaju defekty ukryte wewnątrz materiału.



▲ Czujnik dymu



▲ Kontrola części samolotu za pomocą promieniowania

Niewidzialne promieniowanie

W 1896 r. francuski naukowiec Henri Becquerel (czyt. anr**i** bekere**l**) w trakcie badań nad fluorescencją, czyli samoistnym świeceniem ciała wcześniej oświetlonego, odkrył zjawisko promieniotwórczości. Umieścił próbkę naświetlanego na słońcu uranu w pobliżu kliszy fotograficznej. Gdy ją wywołał, okazało się, że jest naświetlona. Becquerel początkowo błędnie przypisał ten efekt zjawisku fluorescencji. Później jednak odkrył, że klisza zostaje naświetlona również w obecności uranu, który nie był wcześniej wystawiony na działanie słońca. Jak to możliwe? Badacz uznał, że uran promieniuje samorzutnie.

Wkrótce tajemniczym zjawiskiem zainteresowała się Maria Skłodowska-Curie, do której z czasem dołączył jej mąż Piotr Curie. Uczeni postanowili sprawdzić, czy promieniowanie próbek jest proporcjonalne do zawartości uranu. Jak się okazało, wcale tak nie było. Niektóre rudy uranu okazały się znacznie bardziej aktywne, choć były w ten pierwiastek uboższe. Co więcej, jeden z badanych minerałów – chalkolit, odtworzony w laboratorium na drodze sztucznej syntezy z uranu, fosforu i miedzi, promieniował znacznie słabiej niż chalkolit z kopalni.

Państwo Curie doszli do wniosku, że za promieniowanie naturalnego chalkolitu musi odpowiadać inny, nieznany dotąd pierwiastek, który nazwali polonem. Wkrótce odkryli kolejny pierwiastek promieniotwórczy: rad. Stwierdzili też, że promieniowanie obu odkrytych pierwiastków nie tylko zaczernia kliszę fotograficzną, lecz także rozładowuje elektroskop i ulega odchyleniu w polu elektrycznym.

W 1903 r. Becquerel i małżonkowie Curie otrzymali Nagrodę Nobla za badania nad zjawiskiem promieniotwórczości naturalnej. A w 1911 r. Maria Skłodowska-Curie otrzymała drugą Nagrodę Nobla za odkrycie polonu, radu oraz wyodrębnienie czystego radu.

Henri Becquerel



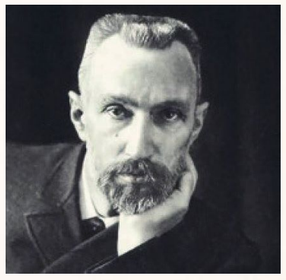
Henri Becquerel (1852–1908) pochodził z rodziny o tradycjach naukowych. Jego dziadek i ojciec także byli fizykami i szczycili się dużymi osiągnięciami. Dziadek – Antoni Becquerel – odkrył efekt fotowoltaiczny, natomiast ojciec – Aleksander Becquerel – jako pierwszy zmierzył temperaturę za pomocą ogniwa termoelektrycznego.

Maria Skłodowska-Curie



Maria Skłodowska-Curie (1867–1934) w 1891 r. wyjechała na studia do Francji. Pozostała w pamięci zarówno ze względu na dwie Nagrody Nobla, jak i dzięki organizacji opieki medycznej dla żołnierzy podczas I wojny światowej. Auta wyposażone przez nią w aparaty rentgenowskie nazywano „małymi Curie".

Pierre Curie



Pierre Curie (1859–1906) był fizykiem, badaczem własności elektrycznych i magnetycznych materii, a później również zjawisk promieniotwórczości. Małżonkowie Curie byli nie tylko zgranym zespołem badaczy materii, lecz także parą zapalonych rowerzystów – rowerami wybrali się nawet w swoją podróż poślubną.

To najważniejsze

- Promieniowanie powstające w jądrach atomowych nazywamy **promieniowaniem jądrowym**.
- Ważnymi rodzajami promieniowania jądrowego są: **alfa** (jądra helu), **beta** (elektrony) i **gamma** (bardzo krótkie fale elektromagnetyczne).
- Spośród tych rodzajów najmniej przenikliwe jest promieniowanie alfa, a najbardziej – promieniowanie gamma.
- Promieniowanie jądrowe jest wykorzystywane w wielu dziedzinach życia, m.in. w przemyśle, medycynie i energetyce.

Pytania i zadania

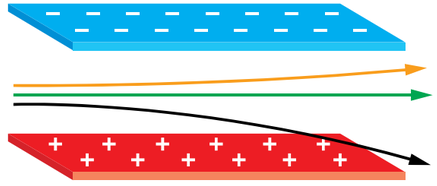
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Jakim rodzajem promieniowania jest strumień:

a) jąder helu?

b) szybko poruszających się elektronów?

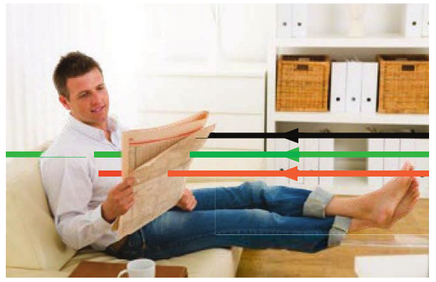
2. Kolorowe strzałki przedstawiają tory ruchu cząstek, które powstały w wyniku przemian jądrowych i poruszają się między naładowanymi elektrycznie płytami. Jakim rodzajom promieniowania (alfa, beta, gamma) odpowiadają poszczególne tory?



3. Który z rodzajów promieniowania jest najbardziej podobny do światła widzialnego? Na czym polega różnica między tym promieniowaniem a światłem?

4. Czy jedzenie żywności sterylizowanej za pomocą promieniowania jest niebezpieczne? Uzasadnij swoją odpowiedź.

5. Jakie rodzaje promieniowania oznaczono schematycznie poszczególnymi kolorami na fotografii?



6. Dowiedz się, w jaki sposób wykorzystujemy promieniowanie w przemyśle papierniczym. Zapisz w kilku zdaniach zdobyte informacje i wskaż, z jakich źródeł pochodzą.

7. (i) Na podstawie informacji z infografiki wybierz jedno prawdziwe zdanie:

Pierwiastki odkryte przez Marię Skłodowską-Curie i Piotra Curie:

A. emitują wyłącznie promieniowanie gamma.

B. są izotopami uranu.

C. zaczerniają klisze fotograficzne.

D. nie występują naturalnie na Ziemi.

38 Wpływ promieniowania na organizmy żywe



Jak stworzono czerwoną odmianę grejpfruta?

Cele lekcji:

- Poznasz pojęcia: promieniowanie jonizujące i promieniowanie niejonizujące.
- Dowiesz się, jak promieniowanie jonizujące wpływa na organizmy żywe.
- Nauczysz chronić się przed skażeniem substancjami promieniotwórczymi.
- Poznasz zastosowanie promieniowania w medycynie.

Promieniowanie jonizujące i niejonizujące

Przypomnijmy, że niektóre rodzaje promieniowania, takie jak ultrafioletowe, rentgenowskie i gamma, mogą wyrwać elektron z atomu, czyli spowodować jonizację tego atomu. Dlatego nazywamy je **promieniowaniem jonizującym**.
Natomiast światło widzialne, podczerwień i mikrofale określamy mianem **promieniowania niejonizującego**. Nie powoduje ono dużych zmian w materii, choć może podgrzewać substancje lub wywoływać reakcje chemiczne, np. fotosyntezę.
A jak jest z promieniowaniem jądrowym? Okazuje się, że:

Promieniowanie jądrowe także jest promieniowaniem jonizującym.

Dodatkowo promieniowanie jądrowe może także wywołać przemianę jądrową, czyli zmienić atom w inny pierwiastek lub izotop.

Promieniowanie kosmiczne

Promieniowanie kosmiczne składa się głównie z rozpędzonych protonów, cząstek alfa i elektronów oraz promieniowania gamma emitowanego przez Słońce i inne obiekty

astronomiczne. Tak więc znaczna część promieniowania kosmicznego jest promieniowaniem jonizującym. Częściowo chroni nas przed nim pole magnetyczne i atmosfera Ziemi.

Promieniowanie jonizujące a nasze zdrowie

Czy powinniśmy się obawiać promieniowania jonizującego, zwłaszcza promieniowania jądrowego? To w znacznym stopniu zależy od jego **dawki** (patrz infografika na s. 255) oraz rodzaju promieniowania (czy jest to promieniowanie α, β czy γ).

- Jak sprawdziliśmy w trakcie doświadczenia 22., opisanego w poprzedniej lekcji, w naszym otoczeniu stale znajduje się niewielka ilość substancji promieniotwórczych, które nieustannie wysyłają słabe promieniowanie.

Słabe promieniowanie, jakie stale nas otacza, nie jest szkodliwe dla zdrowia.

- Sytuacja zmienia się wtedy, gdy człowiek zostaje narażony na silne promieniowanie, np. po awarii reaktora jądrowego lub wybuchu bomby atomowej.

Silne promieniowanie może wywołać chorobę popromienną, a nawet doprowadzić do śmierci.

- Konsekwencje napromieniowania bywają także odłożone w czasie, nawet o wiele lat. Wśród osób, które zostały silnie napromieniowane, znacznie częściej występują zachorowania na nowotwory. Napromieniowanie może również powodować mutacje komórek rozrodczych i komórek płodu, a więc obciążyć kolejne pokolenie.

Skażenie promieniotwórcze

Bardzo silne promieniowanie może do nas dotrzeć tylko w wyjątkowych przypadkach, takich jak wybuch bomby jądrowej w pobliżu. Znacznie bardziej prawdopodobny jest krótkotrwały kontakt z substancjami promieniotwórczymi. Im szybciej przerwiemy ekspozycję na promieniowanie, tym lepiej.
Bardzo niebezpieczna jest sytuacja, gdy substancja promieniotwórcza dostanie się do wnętrza organizmu, np. z powietrzem albo pożywieniem. Wtedy napromieniowuje ona organizm przez długi czas, nawet jeśli sami znajdziemy się w bezpiecznym miejscu.



▲ Promieniowanie kosmiczne odkryto w 1912 r. podczas pomiarów wykonywanych z balonów



▲ W irańskim mieście Ramsar promieniotwórczość naturalna jest ponad 100 razy silniejsza niż w Polsce, ale nie obserwuje się negatywnych skutków tego zjawiska



▲ Substancje promieniotwórcze są oznaczone charakterystycznym znakiem

Reguła czterech „P”

Po stwierdzeniu, że możemy mieć kontakt z substancjami promieniotwórczymi i poinformowaniu odpowiednich służb, postępujemy podobnie, jak przy zapobieganiu chorobom wirusowym. Chociaż zagrożenie jest zupełnie innego rodzaju, w obu wypadkach chodzi o to, aby niepożądane substancje nie dostały się do organizmu. W zapamiętaniu tych reguł pomoże ci reguła czterech „P”:



▲ Przysłoń usta i nos



▲ Post (nic nie jeść i nie pić)



▲ Prysznic



▲ Pranie

Korzystne promienie

Wiemy, że promieniowanie jądrowe jest zdolne do niszczenia żywych komórek. Tę jego własność wykorzystuje się w leczeniu nowotworów.

W niektórych terapiach stosuje się naświetlania promieniowaniem. Na przykład operacje nowotworów mózgu można prowadzić za pomocą noża gamma (zdjęcie A). Wytwarza on setki wąskich wiązek promieniowania, które różnymi drogami docierają do chorego miejsca, skupiają się tam i niszczą zmianę chorobową.

Nie zawsze źródłem promieniowania wykorzystywanego w medycynie są procesy rozpadu promieniotwórczego. Do wielu zastosowań wygodniej jest je produkować w akceleratorach, czyli urządzeniach do rozpędzania i zderzania cząstek i jonów.

Izotopy w medycynie

Wiedza na temat właściwości danej tkanki pozwala przewidzieć, jaki pierwiastek będzie ona wchłaniać. Ponieważ komórki nowotworowe rosną i rozmnażają się najszybciej, pochłaniają one najwięcej tego pierwiastka. Gdy więc podamy pacjentowi promieniotwórczy izotop tego pierwiastka, zgromadzi się on w chorej tkance. Specjalne urządzenie rejestrujące promieniowanie tego izotopu – kamera gamma (zdjęcie B) – pozwala rozpoznać, w których obszarach organizmu zgromadził się izotop. Znacznie większych dawek izotopów używa się do leczenia – wtedy izotop docierający do chorej tkanki powoduje jej zniszczenie.





▲ Promieniowanie jądrowe wykorzystywane w medycynie: A nóż gamma, B kamera gamma



Zastosowania w rolnictwie

Okazuje się, że promieniowanie może służyć człowiekowi nie tylko w medycynie, lecz także na przykład w rolnictwie. Z pomocą promieniowania można wywołać **mutacje roślin** pomagające wytworzyć ich nowe odmiany – w ten sposób powstała czerwona odmiana grejpfruta Star Ruby (patrz zdjęcie na górze s. 252), a także odporniejsze odmiany zbóż.

To najważniejsze

- Z niewielkimi ilościami promieniowania jonizującego mamy do czynienia stale, ale w małych dawkach nie jest ono szkodliwe.
- **Silne promieniowanie** jonizujące **jest szkodliwe** dla zdrowia i może być przyczyną powstawania nowotworów.
- Wiele rodzajów promieniowania jądrowego jest wykorzystywane w medycynie, zarówno do diagnostyki, jak i do leczenia chorób nowotworowych.
- Fale radiowe i mikrofale (z kuchenki, wi-fi czy telefonu), podczerwień i światło widzialne nie są promieniowaniem jonizującym.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Poszukaj w internecie zastosowań promieniowania jądrowego innych niż wymienione w podręczniku (w tej i w poprzedniej lekcji). Opisz w zeszycie jedno z nich.

2. Oceń prawdziwość zdań.

A. Promieniowanie jądrowe jest zawsze szkodliwe dla zdrowia.

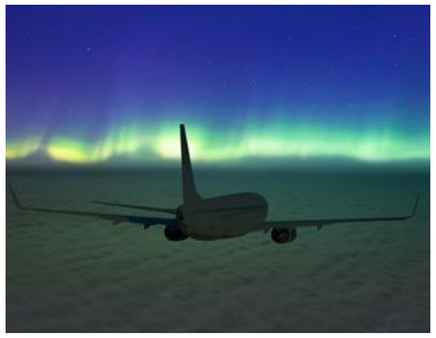
B. Router wi-fi emituje promieniowanie jonizujące.

C. Do naszych organizmów stale dociera promieniowanie jądrowe.

D. Szkodliwe są tylko niektóre rodzaje promieniowania.

E. Szkodliwe są tylko duże dawki promieniowania jądrowego.

3. Jak myślisz, od czego zależy dawka promieniowania kosmicznego pochłonięta przez pasażerów lotów międzykontynentalnych? Dlaczego w badaniach nad tym problemem szczególnie dokładnie przyjrzano się załogom samolotów, których trasy przebiegały nad okolicami biegunów?



4. Oblicz, ile razy roczna dawka promieniowania otrzymana na skutek palenia papierosów jest większa od:

a) rocznej dawki spowodowanej mieszkaniem w pobliżu elektrowni jądrowej,

b) dawki otrzymanej na skutek prześwietlenia zęba.

POWTÓRZENIE

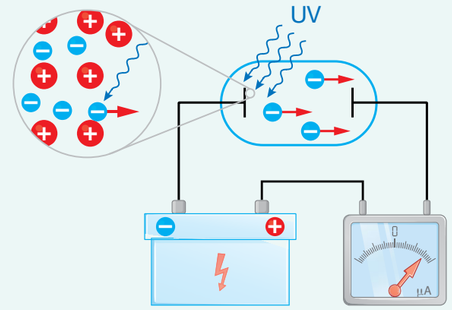
Atomy i promieniowanie

- Światło i każdą inną falę elektromagnetyczną można również przedstawić jako strumień **fotonów** – cząstek, z których każda ma energię równą:

$$E = hf$$

gdzie: f – częstotliwość fali, h – **stała Plancka**; $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s} = 4{,}14 \cdot 10^{-15}\ \mathrm{eV \cdot s}$.

- Elektrony mogą zostać wybite z powierzchni metalu przez fotony. Zjawisko to jest nazywane **efektem fotoelektrycznym** i zachodzi w przypadku promieniowania elektromagnetycznego o odpowiednio dużej częstotliwości fali.

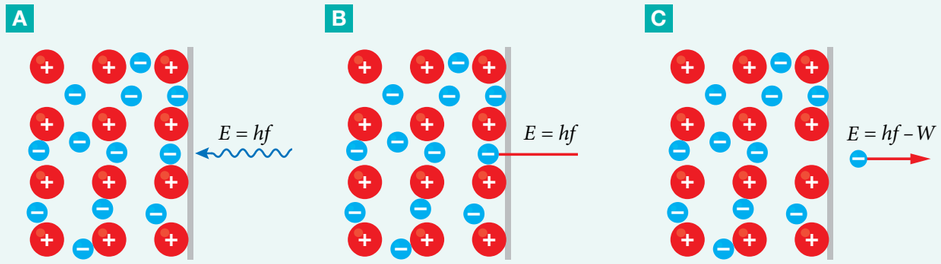


- Efekt fotoelektryczny można wyjaśnić przy założeniu istnienia fotonów.
- Aby foton mógł wybić elektron z powierzchni metalu, musi mieć energię większą od **pracy wyjścia** W – wielkości zależnej od rodzaju metalu.
- **Energia kinetyczna elektronu** wybitego z powierzchni metalu jest równa:

$$E_k = hf - W$$

gdzie: W – praca wyjścia, h – stała Plancka, f – częstotliwość fali.

- Foton o energii hf pada na powierzchnię metalu (rys. A). Elektron znadujący się w tym metalu pochłania energię hf (rys. B). Wybity elektron ma energię kinetyczną mniejszą o pracę wyjścia W od energii fotonu (rys. C).



- Nie tylko fotony, lecz także inne cząstki elementarne (elektrony, protony itd.), a nawet obiekty życia codziennego wykazują właściwości falowe. Cząstce o masie m poruszającej się z prędkością v odpowiada **fala materii** o długości:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

gdzie: h – stała Plancka.

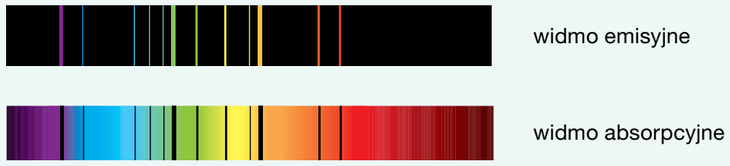
- Zgodnie z tym wzorem długość fali odpowiadającej obiektom z życia codziennego jest tak mała, że nie obserwujemy zjawisk falowych z ich udziałem. Można je jednak obserwować dla elektronów i innych cząstek mikroświata.

- (F) Wszystkie rozgrzane ciała wysyłają **promieniowanie termiczne** w postaci fal elektromagnetycznych. Im wyższa temperatura ciała, tym wyższa częstotliwość fal.



- Promieniowanie rozszczepione na poszczególne barwy nazywamy **widmem**. Widma włókna żarówki oraz innych rozgrzanych ciał stałych i cieczy są ciągłe, kolory w części widzialnej widma płynnie przechodzą od czerwieni do fioletu.

- Atomy pobudzonych do świecenia rozrzedzonych gazów wysyłają i pochłaniają promieniowanie o ściśle określonych częstotliwościach – mają **widmo liniowe**. Każdy pierwiastek tworzy inne widmo. Dzięki temu na podstawie widma gazu można ustalić jego skład chemiczny.



- **Widmo emisyjne** powstaje, gdy atomy gazu pobudzone do świecenia, np. przez wyładowania elektryczne, wysyłają (emitują) światło.
- **Widmo absorpcyjne** tworzy się wtedy, gdy pomiędzy ciałem emitującym widmo ciągłe i obserwatorem znajduje się nieco chłodniejszy gaz, pochłaniający (absorbujący) światło o określonej częstotliwości.

- Zgodnie z uproszczonym modelem budowy atomu elektron może krążyć wokół jądra atomowego tylko po ściśle określonych orbitach.

- Im wyższa (bardziej oddalona od jądra) orbita, tym większa energia elektronu.

- Aby przeskoczyć na wyższą orbitę, elektron musi pochłonąć foton o energii równej różnicy energii elektronu na tych orbitach.
- Gdy elektron spada na niższą orbitę, emituje foton.



▲ Atom przed emisją fotonu ▲ Atom po emisji fotonu

- Gdy elektron pochłonie foton o wystarczająco dużej energii, może zostać trwale oderwany od atomu. Najmniejszą energię, która umożliwia takie uwolnienie elektronu od jądra, nazywamy **energią jonizacji**, a sam proces – jonizacją atomu.

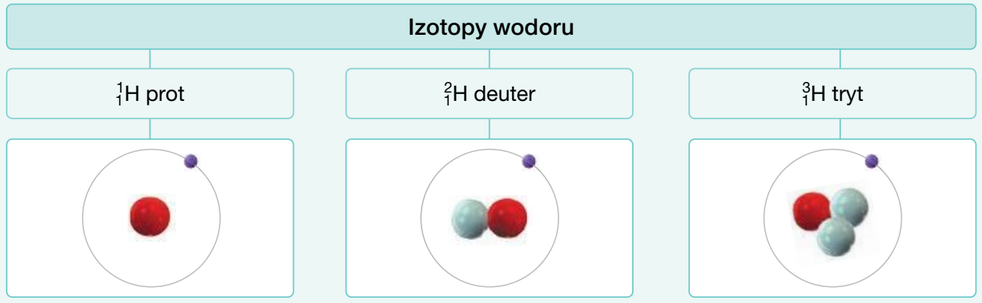
- **Jądro atomowe** składa się z nukleonów: **protonów** i **neutronów**. W każdym niezjonizowanym atomie liczba **elektronów** poruszających się wokół jądra jest taka sama jak liczba protonów w jądrze. Atomy danego pierwiastka mają ustaloną liczbę protonów w jądrze (**liczba atomowa**), jednak liczba neutronów może być różna.

liczba masowa – liczba nukleonów w jądrze

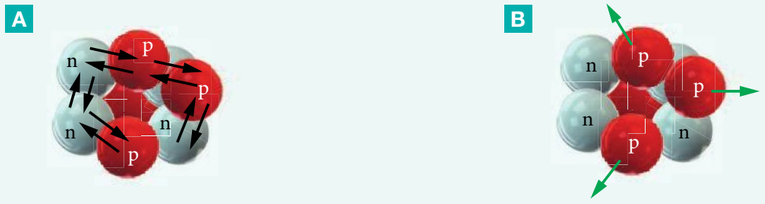
$^{12}_{6}C$ — symbol pierwiastka

liczba atomowa – liczba protonów w jądrze

- Odmiany atomów tego samego pierwiastka o różnej liczbie neutronów nazywamy **izotopami**.



- W jądrze między nukleonami działają **siły przyciągania jądrowego** (rys. A). Równoważą one odpychające siły elektrostatyczne działające między protonami (rys. B).



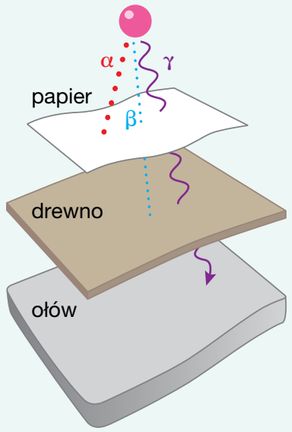
▲ Siły jądrowe utrzymują nukleony w środku jądra A. Siły elektrostatyczne próbują rozerwać jądro B

Rodzaje promieniowania

Promieniowanie		
alfa (α)	beta (β)	gamma (γ)
strumień jąder helu	strumień elektronów	fala elektromagnetyczna

Przenikliwość promieniowania

Promieniowanie alfa jest **mało przenikliwe**: w powietrzu może przebyć kilka centymetrów, a w tkance – jedynie ułamek milimetra.



Promieniowanie beta jest bardziej przenikliwe niż alfa: w powietrzu może przebyć kilka metrów, a w materii do kilku milimetrów.

Promieniowanie gamma jest **najbardziej przenikliwe**. Aby się przed nim osłonić, potrzeba grubej tarczy, np. ołowianej.

- Słabe promieniowanie jądrowe, które stale nas otacza, nie jest szkodliwe dla zdrowia. Natomiast silne promieniowanie może powodować chorobę popromienną, a nawet śmierć.
  - Niektóre rodzaje promieniowania wykorzystujemy w diagnostyce medycznej i w celach terapeutycznych.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE — To musisz umieć

1. Który z podanych rodzajów promieniowania składa się z fotonów o najniższej energii?

A. podczerwień
B. światło widzialne
C. ultrafiolet
D. promieniowanie gamma

2. Czy istnieje metal, w którym do wywołania efektu fotoelektrycznego wystarczy:

a) światło fioletowe, ale nie czerwone,
b) światło czerwone, ale nie fioletowe,
c) promieniowanie podczerwone, ale nie widzialne,
d) światło widzialne, ale nie ultrafiolet?

3. Elektron w atomie:

A. emituje foton po każdym obiegu orbity.
B. emituje foton, gdy przechodzi na orbitę o niższej energii.
C. emituje foton, gdy przechodzi na orbitę o wyższej energii.
D. nie emituje fotonów, ale je pochłania.

4. Które z wymienionych ciał emituje promieniowanie o największej długości?

A. lód
B. włączony kaloryfer
C. grzałka w czajniku elektrycznym
D. płomień zapałki

5. Do wyjaśnienia efektu fotoelektrycznego niezbędne jest przyjęcie założenia, że:

A. światło jest strumieniem cząstek – fotonów.
B. światło ma naturę falową.
C. wszystkie obiekty mikroświata mają naturę falową.
D. elektrony poruszają się wokół jądra atomowego tylko po ściśle określonych orbitach.

6. Które z podanych źródeł światła emituje widmo liniowe?

A. płomień świeczki
B. żarówka
C. świetlówka kompaktowa
D. płomień kuchenki gazowej

7. Wskaż zdanie prawdziwe.

A. Najmniejsza ilość wody to jeden atom wody.
B. Najmniejsza ilość żelaza to jeden atom żelaza.
C. W jądrze wodoru są dwa elektrony.
D. W jądrze uranu jest mniej protonów niż w jądrze wodoru.

8. Jądro atomu izotopu wapnia $^{42}_{20}Ca$ składa się z:

A. 20 protonów i 42 neutronów.
B. 20 protonów i 22 neutronów.
C. 20 neutronów i 22 protonów.
D. 20 neutronów i 42 protonów.

9. Jądro jednego z izotopów rtęci składa się z 80 protonów i 120 neutronów, czyli w sumie z 200 cząstek. W jądrze innego izotopu tego pierwiastka może się znajdować:

A. 90 protonów i 120 neutronów.
B. 90 protonów i 110 neutronów.
C. 80 protonów i 116 neutronów.
D. 90 protonów i 116 neutronów.

10. Wskaż **nieprawdziwe** dokończenie zdania. Promieniowanie jądrowe:

A. powstaje wyłącznie w wyniku działalności człowieka.
B. występowało na Ziemi już wtedy, gdy nie było na niej ludzi.
C. może spowodować śmierć człowieka.
D. może być wykorzystywane w celach medycznych.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To należy umieć

1. Nie istnieje foton:

A. podczerwieni.

B. światła czerwonego.

C. światła białego.

D. promieniowania rentgenowskiego.

2. Ile wynosi energia fotonu o częstotliwości 10^{15} Hz?

3. Ile wynosi energia fotonu światła o długości fali 405 nm?

4. Jaką barwę ma światło, którego fotony mają energię 2,35 eV?

5. Fajerwerki świecą różnymi kolorami, ponieważ wykorzystuje się w nich związki chemiczne o różnym widmie emisyjnym. Oblicz energię fotonu zielonego światła emitowanego przez sole baru. Długość fali takiego światła wynosi 530 nm.



6. Wskaż zdanie **fałszywe**.

Promieniowanie jonizujące:

A. powoduje mutacje.

B. jest emitowane przez urządzenia domowe.

C. służy do leczenia nowotworów

D. zagraża zdrowiu astronautów.

7. Skrót „4P” można w kontekście ochrony przed promieniowaniem rozwinąć jako:

A. post, prysznic, pranie, przesłoń usta i nos.

B. posłuchaj radia, przemieść się, przesłoń usta, przesłoń nos.

C. pakuj prowiant, powiadom służby, poszukaj schronu, pomóż innym.

8. Jeśli z atomu usuniemy jeden elektron, powstanie:

A. jon.

B. inny izotop tego samego pierwiastka.

C. atom innego pierwiastka.

D. pierwiastek promieniotwórczy.

9. Wskaż rodzaj promieniowania, przed którym najtrudniej się zabezpieczyć.

A. alfa **B.** beta **C.** gamma

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To warto umieć

1. Jaką długość musi mieć fala elektromagnetyczna, aby mogła wywołać efekt fotoelektryczny dla baru?

2. Wskaż poprawne dokończenie zdania. Efekt fotoelektryczny dla rubidu mogą wywołać następujące rodzaje promieniowania:

A. nadfioletowe, fioletowe i zielone.

B. fioletowe, zielone i czerwone.

C. zielone, żółte i czerwone.

D. żółte, czerwone i podczerwone.

3. Wybierz wszystkie prawidłowe dokończenia zdania.

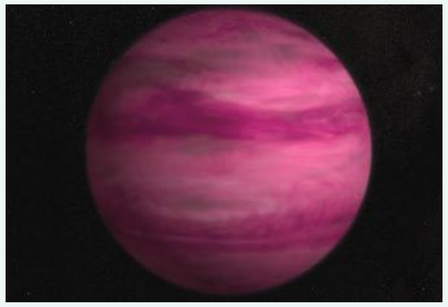
Aby ustalić skład atmosfery dalekiej planety, możemy skorzystać:

A. z widma ciągłego dochodzącego od niej promieniowania.

B. z widma emisyjnego dochodzącego od niej promieniowania.

C. z widma absorpcyjnego światła gwiazdy przechodzącego przez atmosferę planety.

D. z obserwacji zdjęcia planety.



4. Wskaż **wszystkie** zjawiska, które zachodzą tylko dla fotonów o wystarczająco dużej energii. Jeśli nie wiesz, jak jest w przypadku danego zjawiska, poszukaj danych w internecie.

A. zaczernienie zdjęć na kliszy fotograficznej

B. jonizacja atomów

C. uszkodzenie DNA

D. dyfrakcja

E. efekt Dopplera



5. Jakie fale emituje ciało o temperaturze zbliżonej do temperatury Słońca?

A. głównie fale radiowe

B. głównie promieniowanie gamma

C. odpowiedź A lub B, zależnie od substancji, z jakiej jest zbudowane ciało

D. różne długości fal, najwięcej światła widzialnego

6. Złoto jest oświetlane promieniowaniem złożonym z fotonów o energii 6 eV. Oblicz energię kinetyczną wybitych z niego elektronów.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE Dasz sobie z tym radę? – Świetnie

1. Aluminium jest oświetlane promieniowaniem o długości fali 200 nm. Oblicz energię kinetyczną wybitych z niego elektronów.

2. Czy długość fali de Broglie'a elektronu poruszającego się z prędkością 7000 $\frac{km}{s}$ jest większa czy mniejsza od długości fali światła zielonego? Ile razy?

3. Fizycy są dziś w stanie spowolnić swobodne neutrony do prędkości zaledwie 5 $\frac{m}{s}$. Oblicz długość fali de Broglie'a tych neutronów i porównaj ją ze średnicą atomu wodoru wynoszącą około 10^{-10} m.

Projekt Spektroskop

Wstęp:

W doświadczeniu na s. 175 badaliśmy widmo światła za pomocą płyty kompaktowej.

Taki prosty przyrząd wystarcza do odróżnienia widma ciągłego od liniowego. Okazuje się jednak, że gdy do płyty dodamy kartonowe pudełko, uzyskamy znacznie lepsze efekty.

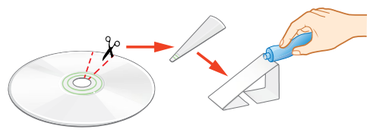
Instrukcja budowy spektroskopu:

1. Znajdź albo sklej z kartonu podłużne pudełko o długości 20–30 cm i pozostałych wymiarach 5–10 cm. Możesz pomalować je od środka na czarno, choć nie jest to konieczne.
2. Wytnij fragmenty pudełka w sposób pokazany na rys. A.
3. Wytnij ze starej płyty CD wycinek o szerokości ok. 3 cm (rys. B).
4. Za pomocą kleju i paska kartonu umocuj kawałek płyty naprzeciwko okienka wyciętego w bocznej ścianie pudełka (rys. C).
5. Na odcięte denko załóż folię aluminiową (uważaj, aby jej nie pognieść) i ostrym nożykiem delikatnie wykonaj w niej wąskie nacięcie (rys. D).

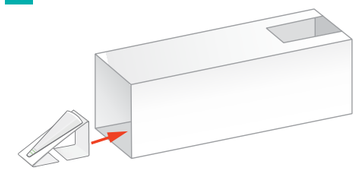
A



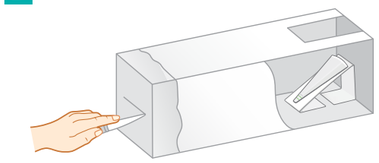
B



C



D



Zadania i polecenia:

1. Spektroskop wykonany według powyższej instrukcji ustaw szczeliną w kierunku źródła światła i zajrzyj do okienka, a zobaczysz widmo światła. Oko trzeba przyłożyć do okienka tak, aby do wnętrza przyrządu nie dostawało się światło z zewnątrz. Możesz także nakryć głowę ciemną tkaniną, jak robili XIX-wieczni fotografowie. Spod tkaniny powinna wystawać tylko część spektroskopu ze szczeliną.
2. Za pomocą spektroskopu zbadaj widma światła z różnych źródeł. Opisz swoje obserwacje jak najdokładniej (możesz np. podać liczbę prążków o różnych barwach w widmie świetlówki).

Uwaga. Nie patrz za pomocą spektroskopu (ani żadnych innych przyrządów) na Słońce – możesz stracić wzrok! Widmo Słońca można obserwować na ekranie. Zastanów się, jak wykorzystać cień spektroskopu, aby ustawić go szczeliną w stronę Słońca.

11. Reakcje jądrowe: na Ziemi i w kosmosie

Każda z galaktyk składa się z miliardów gwiazd. A tymczasem oglądamy je na niebie jako ledwie widoczne plamki. Czy wiesz, dlaczego gwiazdy świecą?



39 Reakcje jądrowe



Dlaczego jeden z najlżejszych gazów wydobywamy w kopalniach?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak powstaje promieniowanie jądrowe.
- Dowiesz się, jak jedne pierwiastki mogą zmieniać się w inne.
- Nauczysz się zapisywać reakcje przemian promieniotwórczych.

Skąd się bierze promieniowanie jądrowe

Z poprzedniego rozdziału wiesz już sporo o promieniowaniu jądrowym, ale czy umiesz powiedzieć, jak ono powstaje? Otóż:

Jądra niektórych izotopów rozpadają się i przekształcają w jądra innych izotopów, wysyłając przy tym promieniowanie.

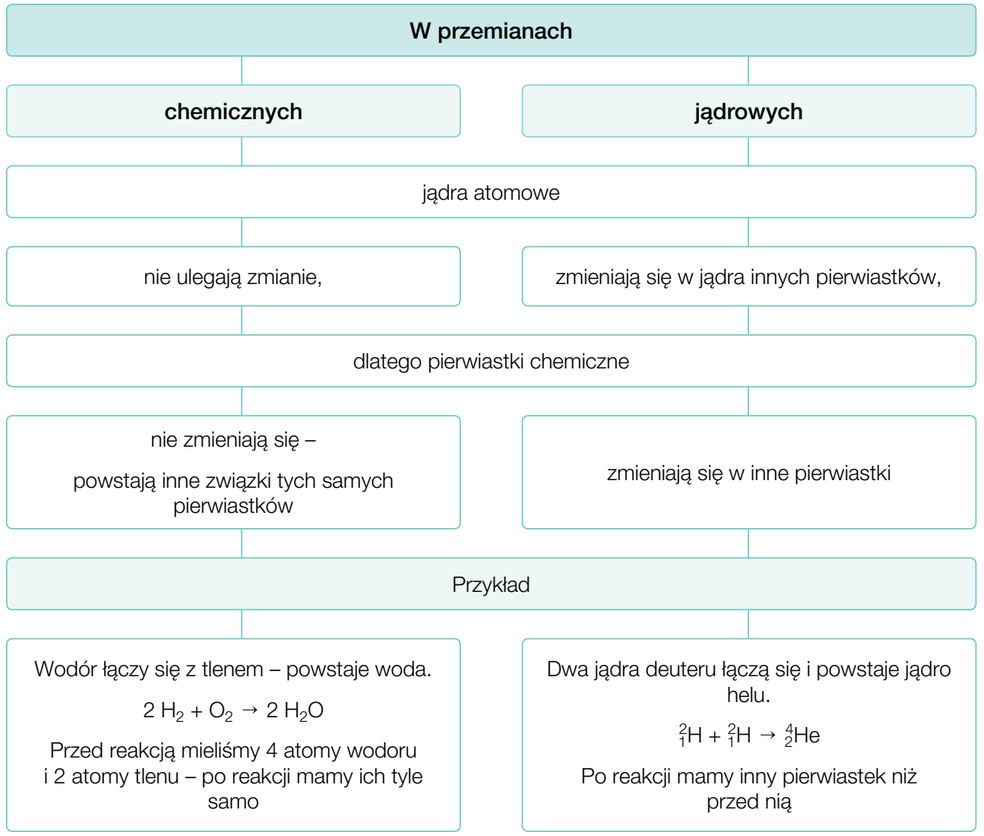
Te izotopy nazywamy **nietrwałymi**.

Dlaczego niektóre jądra się rozpadają

- Niektóre jądra są po prostu za duże. Przyciągające siły jądrowe działają tylko między nukleonami położonymi blisko siebie, natomiast siły odpychania elektrostatycznego między protonami nie mają takich ograniczeń. Dlatego z czasem rozpadają się wszystkie izotopy najcięższych pierwiastków.
- Niektóre jądra mają zbyt mało albo zbyt dużo neutronów w stosunku do protonów. Przykładowo w jądrze węgla jest 6 protonów. Jeśli neutronów jest 6 lub 7, jądro jest stabilne. Natomiast jeśli jest ich mniej albo więcej – jądro się rozpada.

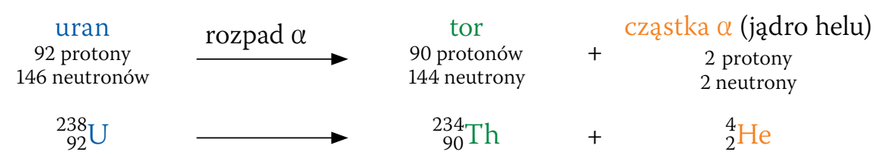
Przemiany jądrowe a przemiany chemiczne

Rozpad jądra izotopu nietrwałego jest przykładem przemiany jądrowej. Różnice między przemianą jądrową a chemiczną przedstawiamy na diagramie.



Rozpad alfa (α)

Jedną z przemian jądrowych jest rozpad α. Polega on na tym, że atom wysyła cząstkę α złożoną z dwóch protonów i dwóch neutronów, czyli jądro helu. Na schemacie przedstawiono przykładową przemianę tego rodzaju.



W wyniku przedstawionej wyżej reakcji powstaje cząstka alfa, dlatego tę reakcję nazywamy **rozpadem alfa** lub **przemianą alfa**.

Podczas tej przemiany nie zmienia się liczba protonów – w powstałym jądrze i cząstce alfa jest ich w sumie tyle, ile było w izotopie, który się rozpadł. Analogicznie jest z neutronami, wobec tego nie zmienia się także całkowita liczba nukleonów, czyli liczba masowa.

A to ciekawe

Choć hel jest bardzo lekkim gazem, to wydobywamy go w kopalniach, ponieważ powstaje on na skutek rozpadu izotopów zawartych w skałach.
Polska jest jednym z sześciu największych światowych producentów helu. Corocznie uzyskuje ok. 3 mln m^3 tego gazu. Przechowuje się go w stanie ciekłym w temperaturze poniżej –268°C. Izolacja zbiornika magazynującego musi być zatem bardzo efektywna. Gdyby miał posłużyć za termos i zamiast helu umieszczono by w nim szklankę wrzącej wody, w ciągu roku ostygłaby ona zaledwie o 1°C.



Prześledźmy te same zależności na innym przykładzie:

polon		ołów		cząstka α	
84 protony 128 neutronów razem 212 cząstek	rozpad α →	82 protony 126 neutronów razem 208 cząstek	+	2 protony 2 neutrony razem 4 cząstki	84 = 82 + 2 128 = 126 + 2 212 = 208 + 4
$^{212}_{84}Po$	→	$^{208}_{82}Pb$	+	$^{4}_{2}He$	

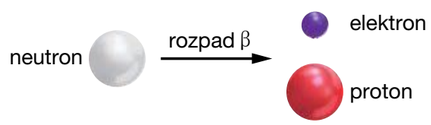
Podsumujmy:

W rozpadzie alfa jądro dzieli się na dwie części, z których jedną jest cząstka alfa (jądro helu).

Rozpad beta (β)

W poprzednim rozdziale powiedzieliśmy, że promieniowanie beta to strumień szybko poruszających się elektronów. Ale w jaki sposób z jądra atomowego może wydostać się elektron, skoro w jądrze nie ma elektronów, a jedynie protony i neutrony?

Neutron w pewnych warunkach może zamienić się w proton i elektron. Kiedy to nastąpi, elektron opuszcza jądro, a proton w nim zostaje. To zjawisko nazywamy **rozpadem beta**.



▲ Schemat przemiany zachodzącej podczas rozpadu beta

Skoro podczas rozpadu beta jądro zyskało dodatkowy proton, to znaczy, że zmieniła się liczba atomowa – więc dany atom stał się atomem innego pierwiastka.

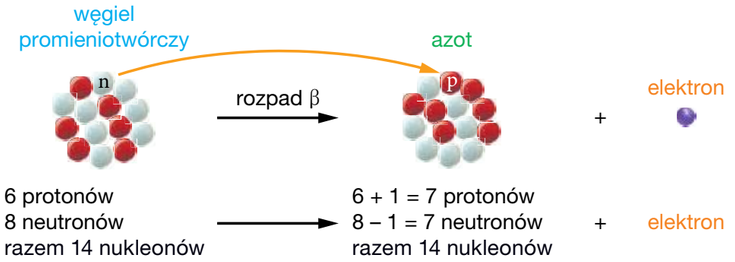
Uwaga. W trakcie rozpadu beta powstaje również dodatkowa cząstka, zwana antyneutrinem elektronowym. Jest ona jednak niezwykle trudna do zaobserwowania. Na lekcjach fizyki na poziomie podstawowym nie będziemy się nią zajmować.

Przykład 1.

Rozpad węgla-14

Promieniotwórcze jądro izotopu węgla $^{14}_{6}C$ rozpada się w przemianie beta. Jaki pierwiastek powstaje w wyniku tej przemiany? Zapisz symbol powstałego izotopu.

Rozwiązanie:
Jądro $^{14}_{6}C$ zawiera 6 protonów oraz 14 – 6 = 8 neutronów.
Jeden z tych neutronów zamienia się w proton i elektron, a więc neutronów jest teraz mniej, a protonów – więcej.



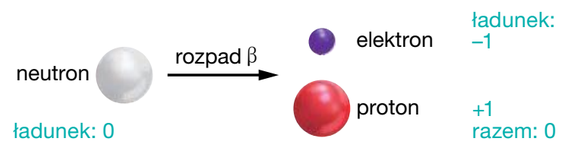
Powstał atom pierwiastka o 7 protonach, czyli o liczbie atomowej 7. W układzie okresowym pierwiastków sprawdzamy, że jest to azot.
Liczba masowa wynosi 14. Jest to więc izotop $^{14}_{7}N$.
Przemianę możemy zapisać jako:

$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + e$$

Odpowiedź: W wyniku przemiany beta z węgla $^{14}_{6}C$ powstaje azot $^{14}_{7}N$.

Zasada zachowania ładunku

W drugiej klasie mówiliśmy o **zasadzie zachowania ładunku elektrycznego**. Zgodnie z nią łączny ładunek elektryczny izolowanego układu ciał nie ulega zmianie. Zarówno w przypadku elektryzowania ciał czy przepływu prądu, jak i w przypadku rozpadu alfa, ta zasada jest łatwa do wyjaśnienia. Skoro nie zmienia się liczba protonów ani elektronów, to nie zmienia się także ich łączny ładunek.
Mniej oczywisty wydaje się fakt, że również w przemianie beta jest zachowany ładunek, choć w jej wyniku powstają nowe naładowane cząstki.



▲ Zasada zachowania ładunku w przemianie beta

Zasada zachowania ładunku jest spełniona we wszystkich znanych zjawiskach.

Uważamy ją za prawo przyrody równie podstawowe, jak zasadę zachowania energii.

Zasady zachowania i równanie reakcji jądrowej

Liczba atomowa, czyli liczba protonów w jądrze, to jednocześnie ładunek elektryczny jądra (wyrażony w ładunkach elementarnych *e*). Na przykład jądro węgla ma 6 protonów w jądrze, a więc ładunek jądra wynosi 6*e*.
Natomiast **liczba masowa** to po prostu liczba nukleonów.
Dlatego elektron oznaczamy $^{0}_{-1}e$. Jego ładunek wynosi $-1 \cdot e$, a liczba nukleonów 0 (ponieważ nie jest nukleonem).

W równaniu reakcji jądrowej powinny się zgadzać zarówno liczba nukleonów, jak i ładunek.

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$

$$238 = 234 + 4$$

$$92 = 90 + 2$$

$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$$

$$14 = 14 + 0$$

$$6 = 7 + (-1)$$

Zasada zachowania liczby nukleonów

Zwróć uwagę, że:

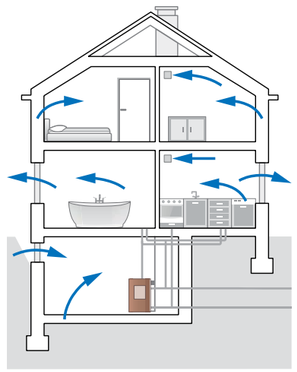
- W trakcie przemiany alfa ani liczba protonów, ani liczba neutronów się nie zmieniają, a tym samym – nie zmienia się także ich łączna liczba.
- W przemianie beta liczba neutronów zmniejsza się o 1, ale za to liczba protonów zwiększa się o 1. Zatem łączna liczba nukleonów nie ulega zmianie.

Okazuje się, że jest to ogólna zasada obowiązująca we wszystkich przemianach jądrowych. Nazywamy ją **zasadą zachowania liczby nukleonów**.

> W przemianach jądrowych łączna liczba nukleonów przed reakcją i po niej pozostaje taka sama.

A to ciekawe

Promieniotwórczy pierwiastek rad znajduje się w glebie i w skałach. Przemieszcza się wewnątrz nich i uwalnia do otoczenia, a także dobrze rozpuszcza w wodzie. Wchodzi również w skład materiałów budowlanych. Opisana w przykładzie na s. 271 przemiana radu w gaz szlachetny radon zachodzi więc m.in. w ścianach naszych domów. Radon jest pierwiastkiem promieniotwórczym i źródłem największej promieniotwórczości naturalnej. Jego zawartość w pomieszczeniach, zwłaszcza w piwnicach, kuchniach i łazienkach, bywa nawet kilkakrotnie większa niż na otwartej przestrzeni. Rozprzestrzenianie się radonu w budynku mieszkalnym przedstawiono na rysunku obok. Prostą, ale skuteczną metodą pozbywania się go z pomieszczeń jest ich wietrzenie.

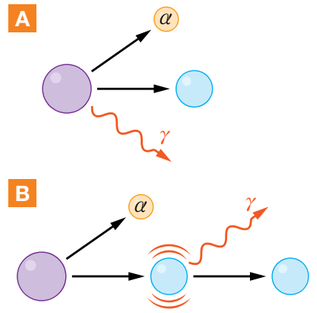


Jak powstaje promieniowanie gamma

Promieniowanie gamma powstaje w dwóch sytuacjach:

- podczas rozpadu jądra razem z cząstkami alfa lub beta (rys. A),
- gdy w wyniku reakcji powstaje nowe jądro o dużej energii, którą po pewnym czasie oddaje w postaci wysokoenergetycznych fotonów (rys. B).

Podczas oddawania nadwyżki energii jądro nie ulega dalszej przemianie, czyli pozostaje jądrem tego samego izotopu.



▲ Powstawanie promieniowania gamma

Przykład 2

Przemiana radu

Odkryty przez Marię Skłodowską-Curie izotop radu $^{226}_{88}Ra$ ulega przemianie, w wyniku której powstaje radon $^{222}_{86}Rn$. Jakiego rodzaju jest to przemiana?

Rozwiązanie:
Informacje o składzie jąder przed reakcją i po niej możemy zapisać w tabeli.

	Przed reakcją	Po reakcji	Zmiana
Liczba atomowa (liczba protonów)	88	86	–2
Liczba neutronów	138	136	–2
Liczba masowa	226	222	–4

Liczbę neutronów obliczyliśmy przez odjęcie liczby atomowej (czyli liczby protonów) od liczby masowej (czyli łącznej liczby protonów i neutronów). Z tabeli możemy odczytać, że z jądra radu ubyły 2 protony i 2 neutrony. Cząstki te tworzą razem cząstkę alfa (jądro helu).

Przemianę radu $^{226}_{88}Ra$ w radon $^{222}_{86}Rn$ możemy zapisać następująco:

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$$

Odpowiedź: Rad $^{226}_{88}Ra$ ulega przemianie alfa.



▲ Maria Skłodowska-Curie w laboratorium

Jak widzisz, w rozpadzie radu zachodzącym w ścianach naszych domów powstaje nie tylko radon, lecz także hel.

To najważniejsze

- W reakcji chemicznej jądra atomów się nie zmieniają. Inaczej dzieje się w przypadku **reakcji jądrowej**, podczas której jądra atomów ulegają przemianom, a atomy jednego pierwiastka mogą się zmieniać w atomy innego pierwiastka.
- **Promieniowanie alfa** powstaje w wyniku rozpadu jądra na dwie części, z których jedną jest cząstka alfa (jądro helu, czyli 2 protony i 2 neutrony).
- **Promieniowanie beta** powstaje wtedy, gdy w jądrze jeden z neutronów ulega przemianie w proton i elektron. Proton zostaje wtedy w jądrze, a elektron je opuszcza.
- Rozpad (przemiana promieniotwórcza) zawsze wiąże się ze zmianą jądra jednego pierwiastka w jądro innego pierwiastka.
- Przemianom promieniotwórczym może towarzyszyć emisja **promieniowania gamma**.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. P1 Obecny w naszych domach izotop radonu $^{222}_{86}Rn$ ulega rozpadowi alfa. Uzupełnij tabelę z informacjami o pierwiastkach przed tym rozpadem i po nim.

a) Ile protonów i neutronów jest w jądrze $^{222}_{86}Rn$?

b) Ile protonów i ile neutronów znajduje się w jądrze izotopu powstałego w wyniku jego rozpadu?

c) Jaki izotop powstaje w wyniku tej przemiany promieniotwórczej? Zapisz jego symbol.

Przed rozpadem		Po rozpadzie	
Izotop $^{222}_{86}Rn$		Izotop	
protony	neutrony	protony	neutrony

2. Izotop azotu $^{16}_{7}N$ ulega rozpadowi beta.

a) Ile protonów i ile neutronów znajduje się w jądrze tego izotopu?

b) Ile protonów i ile neutronów jest w jądrze izotopu pierwiastka powstałego w wyniku jego rozpadu?

c) Jaki izotop powstał w wyniku tej przemiany? Zapisz jego symbol.

3. P2 Czy równanie przedstawia rozpad α czy β? Jaką cząstkę zastąpiono symbolem X?

a) $^{198}_{79}Au \rightarrow {}^{198}_{80}Hg + X$

b) $^{144}_{60}Nd \rightarrow {}^{140}_{58}Ce + X$

4. Wskaż poprawne zakończenia zdań spośród podanych (I–IV). Zapisz w zeszycie całe powstałe zdania.

a) Podczas przemiany α...

b) Podczas przemiany β...

I. ... zmienia się liczba atomowa, natomiast nie zmienia się liczba masowa.
II. ... zmieniają się zarówno liczba atomowa, jak i liczba masowa.
III. ... zmienia się liczba masowa, natomiast nie zmienia się liczba atomowa.
IV. ... nie zmieniają się ani liczba atomowa, ani liczba masowa.

5. Używany w czujnikach dymu promieniotwórczy izotop ameryku $^{241}_{95}Am$ ulega rozpadowi alfa. Zapisz równanie reakcji tego rozpadu. Jaki pierwiastek powstaje w jej wyniku?

40 Czas połowicznego rozpadu



Po jakim czasie rozpadnie się pojedyncze jądro promieniotwórcze?

Cele lekcji:
- Poznasz prawa rządzące tempem przemian jądrowych.
- Wraz z resztą klasy stworzysz model rozpadu promieniotwórczego.

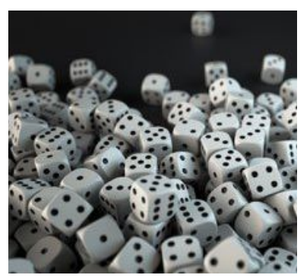
Rozpad nie do powstrzymania

Fizycy pracujący z niektórymi izotopami promieniotwórczymi muszą organizować swoje badania bardzo precyzyjnie. Gdyby pomiary trwały zbyt długo, nie byłoby już czego mierzyć – jądra promieniotwórcze w badanej próbce zdążyłyby się rozpaść. Rozpadu promieniotwórczego nie można w żaden sposób opóźnić, np. przez włożenie próbki do lodówki, aby się nie zepsuła. Nie da się go też przyspieszyć.

Jak długo żyją jądra niestabilne

Czy możemy przewidzieć, kiedy rozpadnie się jądro izotopu promieniotwórczego? Okazuje się, że nie możemy, ponieważ **rozpady promieniotwórcze zachodzą przypadkowo**. Gdy jednak jąder jest bardzo wiele, możemy przynajmniej określić, ile średnio jąder rozpadnie się w danym czasie.

Możemy tę sytuację porównać do rzutu kostką do gry. Gdy dysponujemy tylko jedną, nie możemy przewidzieć wyniku pojedynczego rzutu. Ale jeśli weźmiemy sześćset kostek, będziemy mogli przewidzieć, że na ok. $\frac{1}{6}$ z nich – czyli na ok. stu – wypadnie jedno oczko.



▲ Na bardzo wielu kostkach możliwe wyniki rzutu (od 1 do 6 oczek) rozłożą się mniej więcej po równo

Ponieważ nawet w małej próbce jest bardzo dużo jąder promieniotwórczych, dlatego ich liczba zmniejsza się dość regularnie. Nie wiemy, które z nich się rozpadną, ale wiemy, jaka ich część rozpadnie się w określonym czasie.

Dla każdego izotopu promieniotwórczego można określić czas, w jakim rozpada się średnio połowa jego jąder. To **czas (okres) połowicznego rozpadu**.

Po kolejnym takim samym czasie rozpada się połowa tego, co zostało, potem znów połowa pozostałej części itd.

Zmiany liczby jąder w czasie rozpadu promieniotwórczego

Rozpad jąder można przedstawić na schemacie lub wykresie. Po każdorazowym upływie czasu połowicznego rozpadu T, który jest charakterystyczny dla danego izotopu, liczba jąder zmniejszy się o połowę.

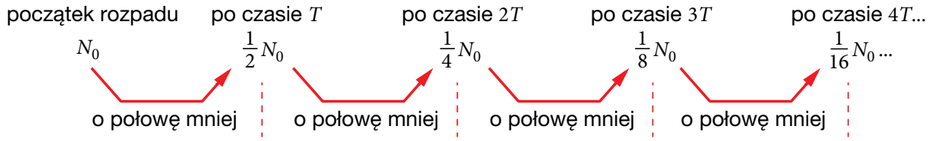
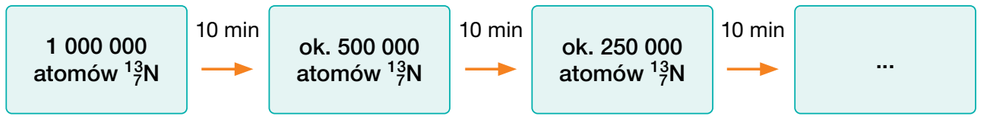


Diagram poniżej przedstawia przykład: rozpad atomów azotu $^{13}_{7}$N. Czas połowicznego rozpadu tego izotopu wynosi 10 minut.

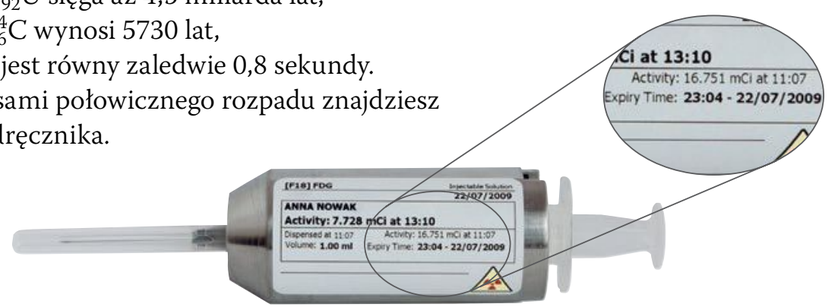


Jak długi może być okres połowicznego rozpadu

Czas połowicznego rozpadu dla poszczególnych izotopów może być bardzo różny, ale dla każdego z nich jest ściśle określony, np.:

- dla uranu $^{238}_{92}$U sięga aż 4,5 miliarda lat,
- dla węgla $^{14}_{6}$C wynosi 5730 lat,
- dla litu $^{8}_{3}$Li jest równy zaledwie 0,8 sekundy.

Tabelę z czasami połowicznego rozpadu znajdziesz na s. 353 podręcznika.



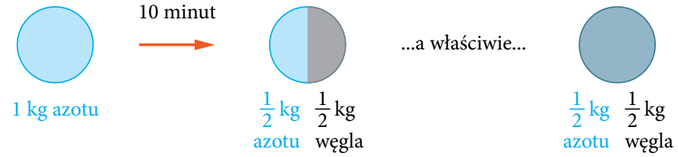
▲ Ponieważ czas połowicznego rozpadu fluoru $^{18}_{9}$F używanego w diagnostyce medycznej wynosi niecałe 2 h, na strzykawce trzeba napisać, o której godzinie preparat powinno się podać pacjentowi, aby dawka nie była ani za mała, ani za duża

Czas połowicznego rozpadu a jeden atom

Po odpowiednio długim czasie z promieniotwórczego izotopu zostanie nam tylko jeden jego atom. Co się stanie po upływie kolejnego okresu połowicznego rozpadu? Tego nie wiemy: może się on rozpadnie, a może nie. Wiadomo jednak, że prawdopodobieństwo jego rozpadu w tym czasie wynosi 50%.

Czas połowicznego rozpadu a masa izotopu

Jeżeli zamiast liczby atomów znamy masę próbki, postępujemy podobnie. Z 1 kg izotopu azotu $^{13}_{7}$N po 10 minutach pozostaje nam tylko $\frac{1}{2}$ kg. Nie oznacza to oczywiście, że druga połowa masy zniknęła. Azot w wyniku przemiany przekształcił się w węgiel $^{13}_{6}$C, zatem po 10 minutach mamy $\frac{1}{2}$ kg azotu i $\frac{1}{2}$ kg węgla.



▲ Rozpadający się izotop nie znika, ale zmienia się w inne izotopy

Rzecz jasna, pierwiastki w próbce są zmieszane, więc aby je zważyć, trzeba by je najpierw rozdzielić. Zwykle znacznie łatwiej jest sprawdzić, jak zmieniło się promieniowanie próbki – mniejsza ilość promieniotwórczego izotopu promieniuje słabiej.

Przykład

Rozpad litu

Próbka izotopu litu $^{8}_{3}$Li o czasie połowicznego rozpadu $T = 0{,}8$ s ma masę $m_0 = 1$ kg.

a) Ile litu pozostanie w próbce po upływie $t_a = 1{,}6$ s?

b) Po jakim czasie pozostanie w niej $\frac{1}{8}$ początkowej ilości atomów $^{8}_{3}$Li?

Rozwiązanie:

a) Po 0,8 s w próbce pozostanie połowa początkowej ilości litu. Po kolejnych 0,8 s (czyli w sumie po 1,6 s) – połowa z połowy, czyli $\frac{1}{4}$ początkowej masy próbki. Zatem:

$$m_a = \frac{1}{4}m_0 = \frac{1}{4}\,\text{kg}$$

b) Zauważmy, że podany ułamek możemy zapisać jako:

$$\frac{1}{8} = \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^3$$

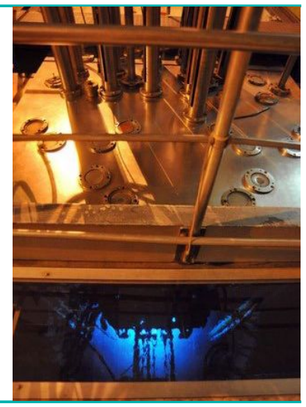
czyli aby z początkowej ilości izotopu pozostała $\frac{1}{8}$, czekamy trzy okresy połowicznego rozpadu. Skoro dla $^{8}_{3}$Li wynosi on 0,8 s, to znaczy, że czas ten wyniesie:

$$t_b = 3\cdot 0{,}8\ \text{s} = 2{,}4\ \text{s}$$

Odpowiedź: Po 1,6 s pozostanie $\frac{1}{4}$ kg izotopu $^{8}_{3}$Li, natomiast $\frac{1}{8}$ kg – po 2,4 s.

A to ciekawe

Polski reaktor jądrowy Maria zapewnia ok. 10–20% światowego zapotrzebowania na molibden-99 ($^{99}_{42}$Mo), który jest podstawowym materiałem do wytwarzania technetu-99 ($^{99}_{43}$Tc) – izotopu niezbędnego w medycynie i stosowanego m.in. w badaniach mózgu, nerek, serca czy kości. Krótki czas połowicznego rozpadu technetu-99, wynoszący 6 h, uniemożliwia jego przechowywanie. Zamiast tego do szpitali dostarcza się molibden-99, a z niego już na miejscu powstaje technet-99. Molibden-99 musi być dostarczany co tydzień, ponieważ jego okres połowiczego rozpadu jest wprawdzie dłuższy niż technetu-99, ale i tak wynosi tylko 66 h.



Model rozpadu promieniotwórczego

Prawdziwych eksperymentów związanych z rozpadem promieniotwórczym zwykle nie można prowadzić w szkolnej pracowni. Zamiast tego wykonamy doświadczenie modelowe, w którym litery na tablicy będą symbolizować jądra atomowe.

Doświadczenie 23.

Model rozpadu promieniotwórczego azotu

1. Niech każdy uczeń w klasie przygotuje dowolną monetę.
2. Na tablicy napiszcie tyle liter N, ile jest osób w klasie. Każda z tych liter symbolizuje jądro azotu-13. Podpiszcie je swoimi imionami.
3. Na znak dany przez nauczyciela rzucacie swoimi monetami.
4. Komu wypadła reszka, ściera swoje N i zamiast niego pisze C (co symbolizuje jądro węgla). Ta osoba nie rzuca już więcej monetą.
5. Nauczyciel notuje, ile jąder węgla i azotu jest na tablicy i daje znak do kolejnego rzutu. Rzucają tylko osoby z literą N.
6. Kiedy wszystkie atomy azotu zmienią się w węgiel, zróbcie wykres liczby atomów azotu od czasu na podstawie danych zanotowanych przez nauczyciela. Przyjmijcie, że kolejne rzuty odbywały się w odstępach równych czasowi połowicznego rozpadu azotu, czyli co 10 minut.
7. Porównajcie też czas życia poszczególnych jąder atomowych. Ile czasu minęło, zanim rozpadło się ostatnie jądro?
8. Jeśli macie więcej czasu, przeprowadźcie symulację jeszcze raz i porównajcie wyniki. Czy łączny czas, jaki minął do chwili, gdy rozpadło się ostatnie jądro azotu, był taki sam? Czy wykresy wyglądały podobnie?

Uwaga. Jeśli klasa jest nieliczna, każda osoba może się zaopiekować dwoma atomami i jednocześnie rzucać dwiema monetami.



Oczywiście nasza symulacja ma charakter przybliżony. Prawdziwe jądra atomowe nie sprawdzają co 10 minut, czy nie czas już się rozpaść, i nie podejmują decyzji w jednej chwili. Proces rozpadu promieniotwórczego zachodzi cały czas, ale jego tempo jest takie, że gdybyśmy zliczali atomy co 10 minut, otrzymalibyśmy wynik podobny do przeprowadzonej przez nas symulacji.

To najważniejsze

- **Rozpad promieniotwórczy** to zjawisko, którego nie da się zatrzymać – przebiega zawsze w ten sam sposób niezależnie od warunków zewnętrznych.
- **Czas (okres) połowicznego rozpadu** to czas, w jakim połowa jąder danego izotopu promieniotwórczego ulega rozpadowi.
- Nie da się określić, **które** jądra atomowe w danej próbce się rozpadną, ale wiemy, **jaka ich część** rozpadnie się w określonym czasie.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. Skorzystaj z tabeli czasów połowicznego rozpadu na s. 353.

1. Geologowie ocenili, że w nowo odkrytym złożu uranu $^{238}_{92}$U znajduje się tona tego izotopu. Ile było go w tym złożu 4,5 miliarda lat temu, gdy powstawała Ziemia?



2. P Izotop jodu $^{131}_{53}$I jest wykorzystywany w badaniu i leczeniu tarczycy. Jego okres połowicznego rozpadu wynosi 8 dni. Próbka tego izotopu miała masę 200 mg.
   a) Ile izotopu pozostanie po 24 dniach?
   b) Po jakim czasie z próbki tego izotopu zostanie 50 mg?
3. Do zbadania 16 pacjentów przygotowano pewną ilość technetu $^{99}_{43}$Tc. Badania nie mogły być jednak wykonywane w danym dniu z powodu awarii urządzeń diagnostycznych. Ich naprawa miała potrwać 24 godziny. Ilu pacjentów będzie można przebadać po usunięciu usterki sprzętu, jeśli pracownia ma do dyspozycji przygotowaną pierwotnie ilość technetu?
4. Wyobraź sobie, że w probówce masz próbkę zawierającą jeden atom $^{99}_{43}$Tc. Jakie jest prawdopodobieństwo, że po jednej dobie nadal nie ulegnie on rozpadowi?

41 Wykorzystanie czasu połowicznego rozpadu



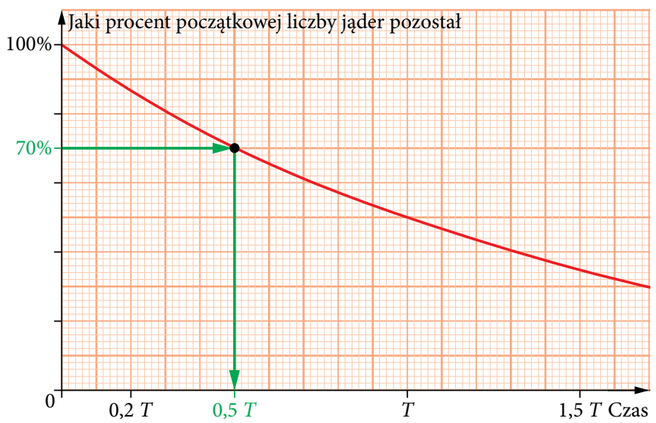
Skąd wiemy, sprzed ilu lat pochodzi ta mumia?

Cele lekcji:

- Poznasz prawa rządzące tempem przemian jądrowych.
- Dowiesz się, jak możemy wyznaczyć wiek obiektów sprzed tysięcy lat.

Wykres rozpadu promieniotwórczego

Na poprzedniej lekcji zbadaliśmy, jak zmienia się liczba jąder atomowych, które uległy rozpadowi po jednym, dwóch lub większej liczbie okresów połowicznego rozpadu. Jednak rozpad promieniotwórczy nie zachodzi skokowo – w dużej próbce jądra rozpadają się nieustannie. Jak w dowolnym momencie wyznaczyć liczbę jąder, które się jeszcze nie rozpadły? Można ją odczytać z wykresu rozpadu promieniotwórczego.



◀ Wykres przedstawia, jaki procent początkowej liczby jąder pozostał w próbce w zależności od czasu

Zaznaczony punkt i zielone linie pomagają odczytać, że po czasie 0,5*T* (czyli po połowie okresu połowicznego rozpadu) w próbce pozostaje ok. 70% początkowej liczby jąder, a więc pozostałe 30% się rozpada. W zależności od potrzeb można stąd odczytać:

- Jaka część początkowej liczby jąder pozostanie po czasie 0,5*T*.
- Po jakim czasie pozostanie 70% początkowej liczby jąder.

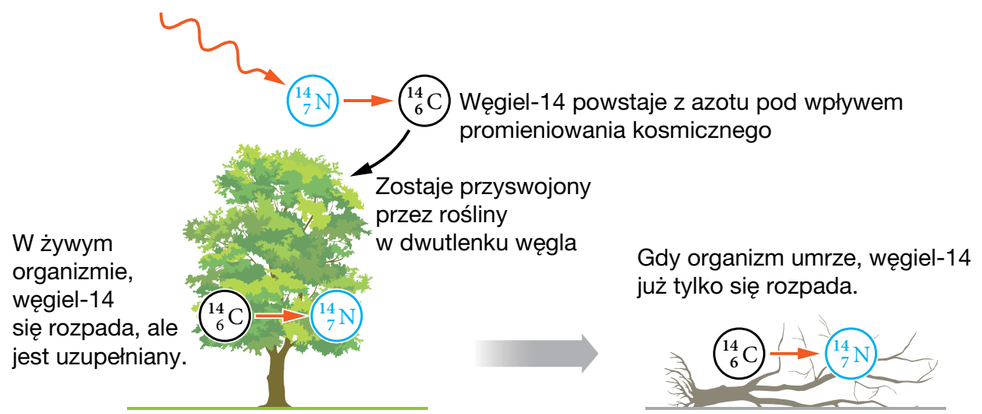
Sposób korzystania z tego wykresu przedstawiamy dokładniej w przykładzie na s. 280. Jak wykorzystujemy takie obliczenia w praktyce?

Datowanie zabytków

Jednym z zastosowań jest datowanie zabytków. Stosuje się w tym celu radioaktywny izotop węgla-14.
Powstaje on w ziemskiej atmosferze wtedy, gdy cząstki promieniowania kosmicznego uderzają w jądra azotu. Atomy dostają się do roślin w dwutlenku węgla dzięki procesowi fotosyntezy i trafiają do kolejnych organizmów w łańcuchu pokarmowym.
W żywym organizmie zawartość promieniotwórczego węgla jest utrzymywana na stałym poziomie – co prawda część izotopu się rozpada, ale jest on stale uzupełniany.
Po śmierci organizmu, gdy atomy nie są już wymieniane z otoczeniem, ilość izotopu C-14 tylko maleje. Jej pomiar pozwala archeologom wyznaczać wiek starych przedmiotów pochodzenia zwierzęcego i roślinnego, np. drewnianych łodzi lub narzędzi ludów pierwotnych.
Metodę datowania radiowęglowego opracował w 1949 r. amerykański chemik Willard Libby, za co w 1960 r. otrzymał Nagrodę Nobla.



▲ Łódź z Gokstad (czyt. goksta), znaleziona w Norwegii w 1880 r. Dzięki datowaniu za pomocą węgla $^{14}_{6}C$ wiemy, że została zbudowana w IX w. Znajdowała się w niej komora grobowa ze szczątkami wodza Wikingów



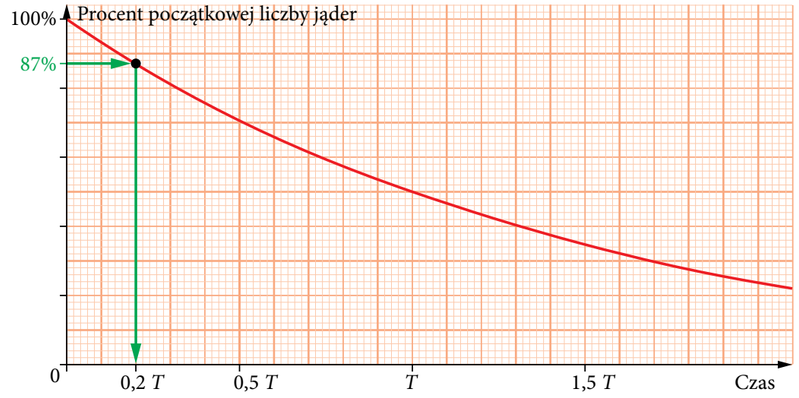
▲ Powstawanie i rozpad węgla-14

Przykład

Tajemniczy ludzie z Roopkund

W 1942 r. w himalajskim jeziorze Roopkund (czyt. rupkund) na terenie Indii odnaleziono szczątki ok. pół tysiąca osób. Zbadana w 2004 r. zawartość izotopu $^{14}_{6}C$ była w nich na poziomie 87% wartości typowych dla żywych ludzi. Kiedy zmarli tajemniczy ludzie z jeziora?

Rozwiązanie: Aby odpowiedzieć na pytanie, skorzystamy z wykresu zależności liczby jąder od czasu. Przyjmujemy, że początkowa liczba jąder N_0 odpowiada 100% i na osi z tą wielkością (czyli na osi pionowej) odnajdujemy punkt 87%, a następnie prowadzimy przez niego poziomą linię do miejsca przecięcia z wykresem.



Od tego punktu prowadzimy linię pionową w dół. Przecina ona oś czasu w punkcie $0{,}2T$, czyli wiek szczątków stanowi $0{,}2T$, gdzie T jest czasem połowicznego rozpadu węgla $^{14}_{6}C$. Czas połowicznego rozpadu tego izotopu wynosi $T = 5730$ lat. Oznacza to, że szczątki liczyły w chwili badania:

$$0{,}2 \cdot T = 0{,}2 \cdot 5730 \text{ lat} \approx 1150 \text{ lat}$$

Zbadane w 2004 r. szczątki pochodzą więc z roku: $2004 - 1150 = 854$.

Odpowiedź: Ludzie ci zmarli ok. 850 r. n.e.

Datowanie skał

Dzięki zjawisku rozpadu promieniotwórczego możemy ustalić wiek Układu Słonecznego (4,57 mld lat). Robimy to przez mierzenie zawartości poszczególnych izotopów w meteorytach, które powstały podczas tworzenia się Układu Słonecznego.

Od chwili, gdy pierwotne pyły i gazy utworzyły skałę, która dziś jest meteorytem, jej skład już się niemal nie zmieniał. Jeśli jednak w pierwotnej materii znajdowały się pierwiastki promieniotwórcze, to rozpadały się one i ustępowały miejsca innym pierwiastkom – produktom swojego rozpadu.



▲ Meteoryty – najstarsze skały w Układzie Słonecznym

To najważniejsze

- **Rozpad promieniotwórczy** w dużej próbce zachodzi **nieustannie**. Aby obliczyć, ile nierozpadniętych jąder atomowych pozostaje w próbce po czasie t od rozpoczęcia pomiaru, możemy posłużyć się wykresem.
- Badania, w których wykorzystuje się pomiar zawartości pierwiastka promieniotwórczego i produktu jego rozpadu, umożliwiły określenie wieku Układu Słonecznego na 4,57 mld lat. Pozwalają również oceniać wiek szczątków organicznych.

Pytania i zadania ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. W 1835 r. w Haraldskaer w Danii odkryto zmumifikowane ciało kobiety. Wydawało się, że pochodzi ono z niezwykle dawnych czasów. W 1977 r. do ustalenia daty jej śmierci wykorzystano technikę datowania węglem $^{14}_{6}C$. Jak się okazało, zawartość węgla $^{14}_{6}C$ zmalała w tym ciele do 74% wartości początkowej. Jak dawno temu zmarła kobieta?

2. P W piramidzie faraona Dżesera znaleziono przedmioty wykonane z drewna akacji. W 1950 r. zawierały one tylko 57% ilości węgla $^{14}_{6}C$, jaka jest obecna w żywych drzewach. Oblicz przybliżoną datę śmierci faraona przy założeniu, że akacja została ścięta w tym samym roku, w którym umarł faraon.

3. Rubid-87 rozpada się w przemianie beta. Okres jego połowicznego rozpadu wynosi 50 mld lat.

a) Ustal, jaki jest produkt tego rozpadu promieniotwórczego.

b) Wyobraźmy sobie, że na Ziemię spadł meteoryt nieznanego pochodzenia. Badaczom udało się ustalić, że początkowa zawartość tego izotopu rubidu spadła w nim do 90% początkowej wartości. Czy ten meteoryt może pochodzić z Układu Słonecznego?

4. W 1991 r. na wysokogórskiej alpejskiej przełęczy dokonano niezwykłego odkrycia: z lodu wystawało ciało mężczyzny.



Dzięki badaniom za pomocą węgla radioaktywnego udało się ustalić, że zmarł ponad 4500 lat temu. Człowieka lodu nazwano później Ötzi, od pasma górskiego, w którym został znaleziony. Oblicz, jaka część izotopu węgla C-14 pierwotnie znajdującego się w jego kościach rozpadła się od śmierci Ötziego.

5*. Przeczytaj informacje z ramki „A to ciekawe" na s. 276. Oblicz, jaka część molibdenu-99 pozostaje w dostarczonej próbce po tygodniu.

Wskazówka. Nie odczytasz tego z wykresu bezpośrednio, ponieważ tydzień to więcej niż dwa okresy połowicznego rozpadu molibdenu-99. Jak sobie poradzić w tej sytuacji?

42 Energia jądrowa



Czy lepiej plażować obok elektrowni atomowej czy węglowej?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, z jakich reakcji czerpią energię elektrownie jądrowe.
- (F) Poznasz budowę elektrowni jądrowej.

Rozszczepienie jądra atomowego

Oprócz przemian α i β do reakcji jądrowych należy rozszczepienie jąder atomowych.

Rozszczepienie to reakcja, w której jądro jednego pierwiastka dzieli się na mniejsze jądra innych pierwiastków. W tym procesie wydziela się dużo energii.

Rozszczepienie jądra atomowego może zajść samorzutnie w przyrodzie, ale może być też wywołane w sposób sztuczny przez człowieka.
Z takiej reakcji potrafimy czerpać energię. Wykorzystujemy wtedy rozszczepienie ciężkich jąder atomowych, np. uranu $^{235}_{92}U$ albo plutonu $^{239}_{94}Pu$. Korzystamy wtedy z faktu, że przy rozszczepieniu jądra jednego z tych izotopów powstają neutrony mogące spowodować rozszczepienie kolejnych jąder.

Reakcja łańcuchowa

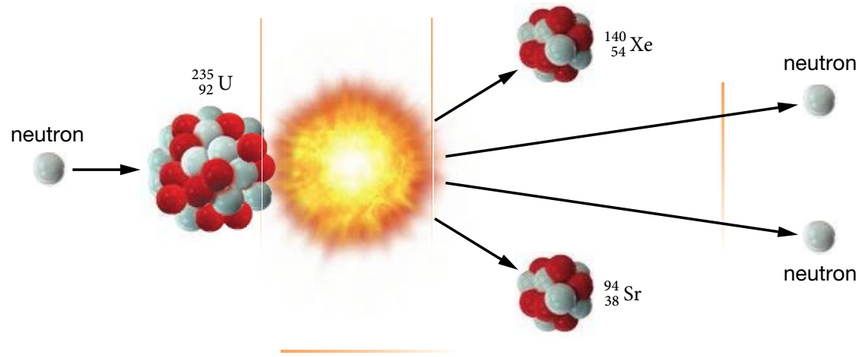
Reakcja łańcuchowa zachodzi wtedy, gdy:
- w wyniku rozpadu jądra powstają co najmniej dwa neutrony,
- każdy z nich może rozbić kolejne jądro i powstaną kolejne co najmniej cztery neutrony,
- każdy z nich może rozbić kolejne jądro…

Reakcja następuje więc coraz szybciej – nazywamy ją **reakcją łańcuchową**.

Rozszczepienie uranu

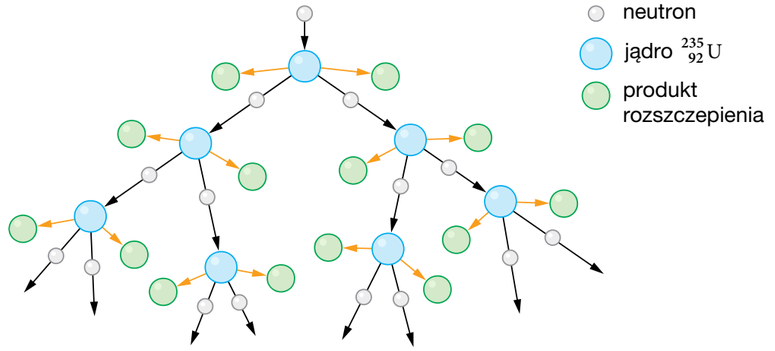
Oto przykładowa reakcja rozszczepienia jądra uranu $^{235}_{92}U$, zachodząca m.in. w reaktorach elektrowni jądrowych.

1. Neutron przyłącza się do jądra uranu
2. Jądro się rozpada
3. Powstają dwa lżejsze jądra (np. ksenonu i strontu, ale czasem też inne izotopy)
4. Dodatkowo powstają dwa lub trzy neutrony



5. Powstałe jądra mają dużą energię kinetyczną, wydziela się też energia w postaci promieniowania gamma.

Skąd wziąć pierwszy neutron do zapoczątkowania reakcji łańcuchowej? Neutrony powstają w sposób naturalny w rozpadzie niektórych izotopów i są obecne w promieniowaniu kosmicznym. Schemat reakcji łańcuchowej przedstawiono na rysunku poniżej. Zauważ, jak szybko rośnie liczba rozpadających się jąder.



▲ Reakcja łańcuchowa zachodząca w bryle uranu $^{235}_{92}U$ (bez zachowania skali). Czarne strzałki przedstawiają tory ruchu neutronów, które spowodowały rozszczepienie kolejnych jąder uranu

Masa krytyczna

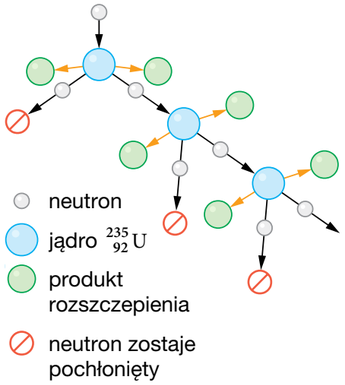
Skoro jednak rozszczepienie jądra uranu-235 może zajść przypadkowo, to dlaczego reakcja łańcuchowa nie zaczyna się zawsze wtedy, gdy tylko zgromadzimy gdzieś trochę tego izotopu?

Otóż neutrony powstające w wyniku rozszczepienia poruszają się losowo w różnych kierunkach, więc wiele z nich wydostaje się poza granice próbki, zanim zdążą zderzyć się z kolejnym jądrem i wywołać kolejne rozszczepienie.
Aby neutrony odpowiednio często trafiały w jądra, musi ich być dostatecznie dużo, a zatem trzeba zgromadzić odpowiednio dużą ilość uranu. Tę ilość nazywa się **masą krytyczną**. Dla kuli czystego uranu-235 wynosi ona ok. **52 kg**.

Masa krytyczna zależy od kształtu próbki i właśnie dla kuli jest najmniejsza.

F Elektrownia czy bomba?

W bombie jądrowej (atomowej) zachodzi reakcja łańcuchowa. Wybuch takiej bomby trwa 10^{-6} s (jedną milionową sekundy), ale powstała w jego wyniku energia może zniszczyć całe miasto. W elektrowniach jądrowych nie zależy nam jednak na bardzo szybkim, wybuchowym tempie reakcji – chcemy spokojnego, kontrolowanego przebiegu rozszczepienia.
W tym celu stosujemy substancje pochłaniające nadmiar neutronów (patrz schemat), aby liczba rozpadających się jąder utrzymywała się na stałym poziomie.



▲ Schemat kontrolowanej reakcji łańcuchowej

F Budowa elektrowni jądrowej

Najważniejszym elementem elektrowni jądrowej jest reaktor jądrowy, w którym zachodzi kontrolowana reakcja łańcuchowa. System zabezpieczeń sprawia, że w razie jakiejkolwiek awarii reakcja łańcuchowa zostaje automatycznie zatrzymana.
Niestety wciąż jeszcze nie umiemy przekształcić energii rozszczepienia bezpośrednio w energię elektryczną. Dlatego reaktory jądrowe są wykorzystywane jako nowoczesne kotłownie, podgrzewające substancję (najczęściej wodę), która później obraca klasyczną turbinę. Budowa reaktora została przedstawiona dokładniej na s. 286–287.

Bomba jądrowa i elektrownia jądrowa wytwarzają energię dzięki rozszczepianiu jąder ciężkich pierwiastków, np. niektórych izotopów uranu. W przeciwieństwie do bomby w reaktorze ten proces przebiega powoli i w sposób kontrolowany.

A to ciekawe

Czy elektrownia jądrowa może zmienić się w bombę jądrową? Naturalnie występujący uran zawiera poniżej 1% użytecznego izotopu $^{235}_{92}$U. W paliwie dla elektrowni jest go ok. 3%. Tymczasem do wybuchu bomby jądrowej jest potrzebny uran o zawartości kilkudziesięciu procent $^{235}_{92}$U.
Dlatego nie jest możliwe, aby elektrownia wybuchła jak bomba jądrowa. Mimo to ten typ elektrowni wymaga zabezpieczeń, ponieważ w wypadku katastrofy może dojść do skażenia środowiska substancjami promieniotwórczymi.



F Inne zastosowania reaktorów

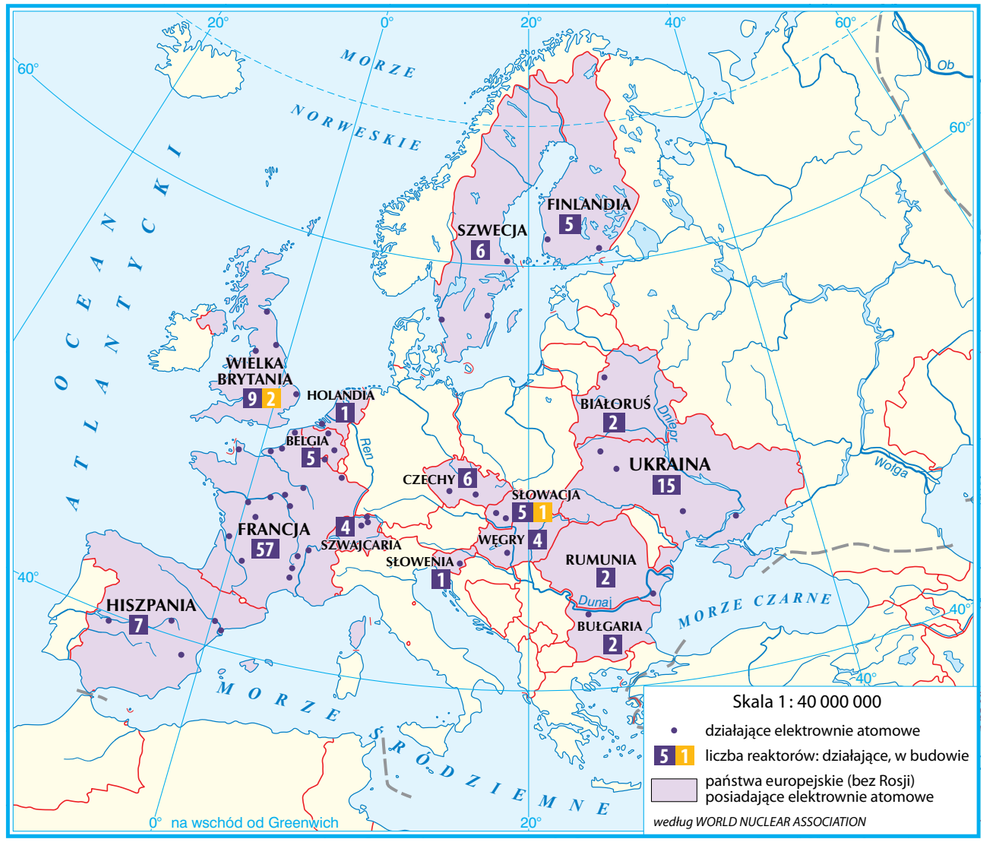
Nie wszystkie reaktory służą wyłącznie do uzyskiwania energii. Głównym celem niektórych z nich, np. polskiego reaktora Maria w Świerku koło Warszawy, jest wytwarzanie izotopów potrzebnych w medycynie i przemyśle. Różnią się one od reaktorów w elektrowniach jądrowych. Choć nie buduje się ich z myślą o produkcji energii, to w procesie wytwarzania różnych izotopów wydziela się jej duża ilość, którą także można wykorzystać.



▲ Reaktor Maria

F Produkcja energii jądrowej w Europie

Polska jest jednym z niewielu krajów Europy bez elektrowni jądrowej. Tymczasem jest to najlepszy sposób na zapewnienie stałych dostaw energii bez spalania węgla – nawet w bezwietrzne i pochmurne dni, kiedy nie działają elektrownie wiatrowe i słoneczne. Dlatego trwają prace przygotowawcze do budowy takiej elektrowni w Polsce, a uruchomienie pierwszego reaktora jest planowane na 2039 r. Dziś największą liczbę reaktorów jądrowych znajdziemy w Stanach Zjednoczonych (94 i 3 w budowie), a w niedalekiej przyszłości podobna liczba znajdzie się w Chinach (58 i aż 33 w budowie).



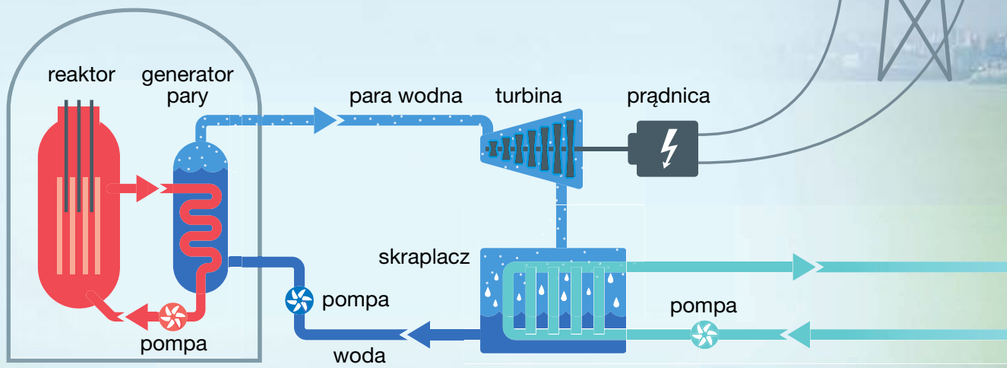
▲ Liczba reaktorów atomowych wykorzystywanych w elektrowniach europejskich (bez Rosji)

Elektrownia jądrowa

Zarówno w elektrowni jądrowej, jak i węglowej prąd jest wytwarzany przez prądnicę napędzaną parą wodną. Różnica sprowadza się do sposobu ogrzewania wody.

Obiegi wody w elektrowni

Dzięki wymiennikom ciepła napromieniowana woda pozostaje zamknięta w obiegu reaktora.



Obieg pierwotny

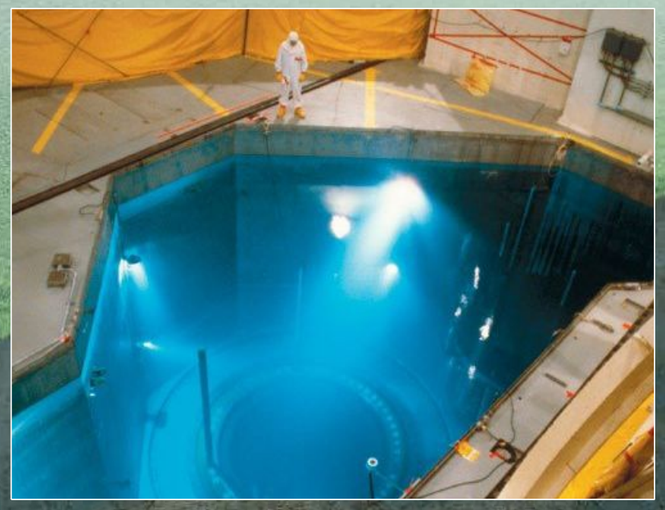
Gorąca woda (ponad 300°C) nie wrze dzięki wysokiemu ciśnieniu. Ciepło oddaje w generatorze pary.

Obieg wtórny

Woda pod niższym ciśnieniem pobiera ciepło w generatorze pary, wrze i zamienia się w parę napędzającą turbiny.

Obieg chłodzący

Woda odbiera ciepło od pary w skraplaczu, a następnie jest schładzana w chłodniach kominowych.



Zbiornik reaktora co kilkanaście miesięcy jest otwierany w celu wymiany części prętów paliwowych na nowe. Woda w zbiorniku reaktora stanowi zabezpieczenie przed promieniowaniem dla pracowników w trakcie wymiany.

Z kominów chłodni do atmosfery wydostaje się jedynie nieszkodliwa para wodna.

chłodnie kominowe

ujęcie wody

Woda jest rozpylana, oddaje ciepło podczas parowania i w większości wraca do obiegu chłodzącego.

Wydajność innych źródeł energii w porównaniu do jednej pastylki paliwa uranowego.





Reaktor jądrowy

Sercem elektrowni jest reaktor. Istnieje wiele typów reaktorów. Tutaj przedstawiamy jeden z najczęściej spotykanych.

W reaktorze znajdują się **pręty paliwowe**, w których zachodzi reakcja rozszczepienia. Między pręty paliwowe wsuwa się pręty regulacyjne zrobione z substancji pochłaniającej neutrony. Dzięki temu można regulować tempo przemian jądrowych.

(F) Odpady promieniotwórcze

Z czasem ilość paliwa jądrowego, np. uranu, w prętach paliwowych elektrowni zmniejsza się tak bardzo, że trzeba je wymienić na nowe. Zużyte paliwo, czyli **odpady promieniotwórcze**, jest silnie promieniotwórcze, dlatego musi być składowane w starannie kontrolowanych warunkach.

Przez pewien czas, gdy promieniuje szczególnie silnie, paliwo przechowuje się na terenie elektrowni. Później przenosi się je do bezpiecznych, niezamieszkałych przez człowieka miejsc, np. do wyeksploatowanych kopalni lub tuneli wydrążonych w górach.

Odpadów tych jest jednak niewiele (patrz zdjęcie), dlatego ich staranne przechowywanie nie jest bardzo trudne.



▲ Gdyby całą energię elektryczną w Polsce produkować w elektrowniach jądrowych, wypalone paliwo z 5 lat zmieściłoby się w jednym domku ogrodowym

(F) Zalety i wady energetyki jądrowej

Na diagramie podsumowujemy zalety i wady elektrowni jądrowej.

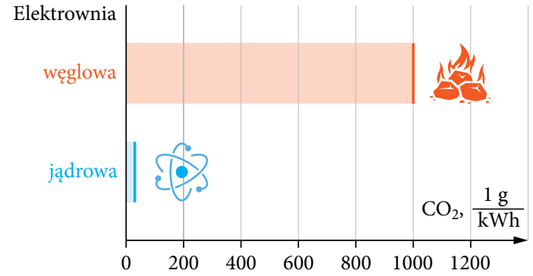
Energetyka jądrowa

Zalety	Wady
Bardzo duża wydajność paliwa	Kosztowna budowa
Brak emisji CO_2 w czasie pracy (i niewielka przy budowie)	Wysokie koszty utylizacji odpadów
Tania w utrzymaniu	Zagrożenie awarią, terroryzmem, działaniami wojennymi
Stabilna (produkuje energię niezależnie od pogody)	
Paliwa wystarczy na 100 lat	

(F) Jeśli nie energia jądrowa – to co

Aby zdecydować, czy warto budować elektrownie atomowe, trzeba sobie także uzmysłowić, jakie mamy inne możliwości.

- **Elektrownie węglowe i gazowe** – jednak one powodują emisję dwutlenku węgla (patrz diagram na następnej stronie) i zwiększają efekt cieplarniany.
- **Energia ze źródeł odnawialnych** (m.in. słońca i wiatru) – jednak ona wymaga magazynów energii na czas pochmurnej i bezwietrznej pogody.
- **Elektrownie wodne** – jednak nie zbudujemy ich na nizinach, które zajmują większą część Polski.



▲ Emisja CO_2 w gramach na 1 kWh energii elektrycznej (wliczone są także budowa elektrowni oraz wydobycie i transport paliwa)

To najważniejsze

- Neutron uderzający w jądro ciężkiego pierwiastka, np. uranu, może spowodować jego **rozszczepienie**. Wydziela się przy tym dużo energii i emitowane są neutrony, które mogą rozszczepiać kolejne jądra. W taki sposób zachodzi **reakcja łańcuchowa**.
- Reakcja łańcuchowa stanowi podstawę działania zarówno bomby jądrowej (atomowej), jak i elektrowni jądrowej. W przeciwieństwie do bomby, w elektrowni energia jest wyzwalana powoli, w sposób kontrolowany.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Elektrownia jądrowa o mocy 1000 MW potrzebuje ok. 20 t paliwa jądrowego rocznie, podczas gdy węglowa – ponad 2,5 mln t węgla. Sprawdź, jaką masę można przewieźć typowym wagonem kolejowym. Ile takich wagonów paliwa potrzeba rocznie do zasilenia elektrowni jądrowej o mocy 1000 MW, a ilu wagonów węgla do zasilenia elektrowni węglowej o tej samej mocy?



2. Pierwsze ze zdań uzupełnij właściwą liczbą, a drugie – przykładem ciała o właściwej masie. Zapisz w zeszycie uzupełnione w ten sposób zdania.

Elektrownia węglowa potrzebuje paliwa o masie [ ] razy większej niż elektrownia jądrowa o tej samej mocy.

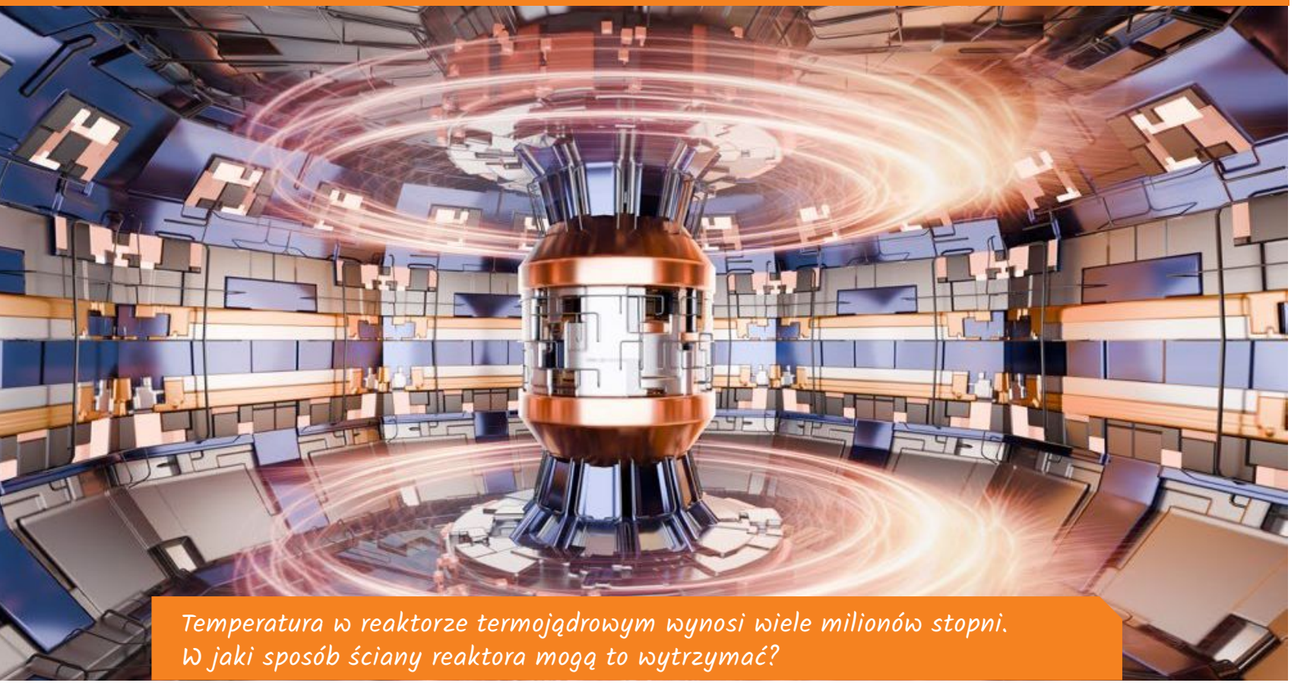
Tyle samo razy masa człowieka jest większa od masy [ ].

3. Przepisz do zeszytu i uzupełnij opis rozpadu jądra uranu:

$$^{1}_{0}\text{n} + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{91}_{36}\text{Kr} + [\ ] + 3\,{}^{1}_{0}\text{n}$$

4. Obejrzyj film *Earth's Two-Billion-Year-Old Nuclear Reactor* na kanale „SciShow” w serwisie YouTube. Zapisz w kilku zdaniach, co cię zainteresowało. Zastanów się i napisz, dlaczego działanie naturalnego reaktora jądrowego było możliwe 2 mld temu, ale nie jest możliwe dziś.

43 Energia syntezy termojądrowej



Temperatura w reaktorze termojądrowym wynosi wiele milionów stopni. W jaki sposób ściany reaktora mogą to wytrzymać?

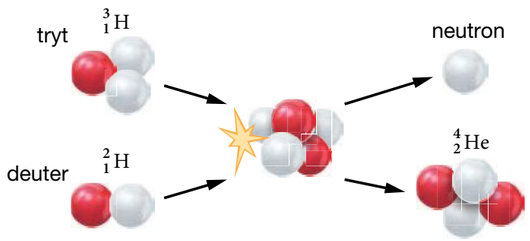
Cele lekcji:

- Dowiesz się, dlaczego Słońce i inne gwiazdy świecą.
- Poznasz zasadę działania bomby termojądrowej (wodorowej).
- Dowiesz się, dlaczego tak trudno zbudować elektrownię termojądrową.

Reakcja syntezy

W poprzedniej lekcji mówiliśmy o bardzo dużej energii wydzielanej przy rozszczepieniu jąder ciężkich pierwiastków, np. jądra uranu.
Okazuje się jednak, że jeszcze wydajniejszym źródłem energii jest **reakcja syntezy**, czyli **łączenia się** jąder lekkich pierwiastków (lżejszych od żelaza).
Najwięcej energii można uzyskać z reakcji łączenia jąder wodoru w jądra helu. W jednym z typów takiej reakcji z jąder trytu i deuteru powstaje jądro helu i neutron:

$$ {}_{1}^{3}\mathrm{H} + {}_{1}^{2}\mathrm{H} \rightarrow {}_{2}^{4}\mathrm{He} + {}_{0}^{1}\mathrm{n} $$



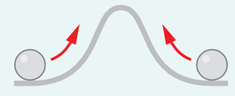
▲ Reakcja syntezy jąder trytu i deuteru

Deuter i tryt to izotopy wodoru → s. 244

Jak zapoczątkować taką reakcję

Doprowadzenie do rozpoczęcia reakcji termojądrowej jest niezwykle trudne.
Protony są przecież naładowane dodatnio, więc odpychają się siłami elektrostatycznymi. Trzeba je zmusić do zbliżenia się na odległość na tyle małą, aby zaczęły działać między nimi siły przyciągania jądrowego.
Dlatego gaz, w którym zachodzi reakcja, musi być gęsty i rozgrzany do co najmniej kilku milionów stopni Celsjusza. Znajdujące się w nim cząstki będą miały wtedy wystarczająco dużą energię kinetyczną, aby zbliżyć się do siebie z rozpędu na odpowiednią odległość (patrz rys.).
Z tego powodu te reakcje nazywamy **termojądrowymi**.
Okazuje się, że właśnie w takich reakcjach powstaje energia w większości gwiazd, m.in. na Słońcu.

Protony w gorącym gazie można porównać do kulek wtaczających się z dwóch stron na górkę. Muszą mieć na tyle dużą prędkość, aby wtoczyły się aż na szczyt i mogły się zderzyć.



W bardzo wysokiej temperaturze i pod dużym ciśnieniem jądra wodoru łączą się **w reakcji syntezy** w jądra helu. Wydziela się przy tym ogromna energia. Ta reakcja stanowi źródło energii Słońca.

Energia termojądrowa

Budowa elektrowni termojądrowej, wykorzystującej reakcję syntezy, byłaby wielkim osiągnięciem dla ludzkości:

- wodoru jest pod dostatkiem (można go czerpać z wody),
- w tej reakcji powstaje ogromna ilość energii,
- ilość odpadów promieniotwórczych jest niewielka.

Niestety, do dziś nie udało się zbudować takiej elektrowni.
W laboratoriach wykonuje się eksperymenty z syntezą termojądrową na bardzo małą skalę. Zwykle energia otrzymana w takich doświadczeniach jest mniejsza niż energia, jaką zużyto do ich przeprowadzenia.

Bomba termojądrowa

Od kilkudziesięciu lat ludzie potrafią wywołać niekontrolowaną reakcję termojądrową. Tak właśnie działa **bomba termojądrowa** (**wodorowa**), kilkaset razy silniejsza od bomby atomowej. Bomba atomowa służy w bombie wodorowej tylko jako zapalnik.

A to ciekawe

We Francji powstaje międzynarodowy reaktor termojądrowy ITER, w którym ilość wyprodukowanej energii ma ok. dziesięciokrotnie przekraczać energię niezbędną do rozpoczęcia reakcji. Rozgrzany do ok. 150 mln stopni, zjonizowany gaz będzie utrzymywany w próżni za pomocą pola magnetycznego, tak aby nie miał kontaktu ze ścianami reaktora.



Alchemicy są wśród nas

Od tysięcy lat ludzie pragnęli wytwarzać złoto z innych substancji. Już w starożytności alchemicy poszukiwali kamienia filozoficznego, czyli sposobu na taką przemianę.



Chociaż alchemią zajmowali się nie tylko oszuści i szarlatani, lecz także prawdziwi uczeni, ich wysiłki zdały się na nic. Wszyscy oni próbowali zmieniać pierwiastki w przemianach chemicznych, co nie jest możliwe.

Pierwszym fizykiem, który użył alchemicznego terminu *transmutacja*, oznaczającego zamianę jednego pierwiastka w inny, we współczesnych badaniach był Frederick Soddy (czyt. sodi). W 1901 r. wraz z Ernestem Rutherfordem odkryli, że radioaktywny tor przekształca się w rad. Gdy uczony uświadomił sobie, czego jest świadkiem, miał – jak wspominał po latach – wykrzyknąć: „Rutherford, to jest transmutacja!". Usłyszał żartobliwą odpowiedź: „Na litość boską, Soddy, nie nazywaj tego transmutacją! Zetną nam głowy jako alchemikom!".

Dziś umiemy zamieniać jedne pierwiastki w drugie. W 1980 r. w laboratorium Uniwersytetu Kalifornijskiego noblista Glenn Seaborg (czyt. siborg) przekształcił kilka tysięcy atomów bizmutu w złoto przez usunięcie z nich części protonów i neutronów. Chociaż metoda Seaborga jest zbyt droga, aby umożliwić komercyjną produkcję złota, jednak przez chwilę jego laboratorium było prawdziwym kamieniem filozoficznym.

Ernest Rutherford



Ernest Rutherford (1871–1937) za odkrycie natury promieniotwórczości otrzymał w 1908 r. Nagrodę Nobla w dziedzinie chemii. Ponieważ dotąd uważał się za fizyka, a na chemików patrzył z góry, więc żartował potem: „W swoim życiu zajmowałem się wieloma przemianami, ale żadna nie była tak szybka jak ta, gdy przemieniono mnie z fizyka w chemika".

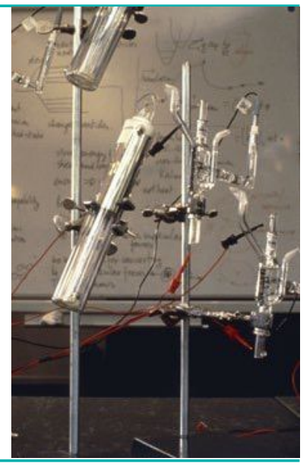
Frederick Soddy



Frederick Soddy (1877–1956) prawdopodobnie jako pierwszy odkrył pierwiastek protaktyn. Jednak o swoim odkryciu poinformował jako drugi, ponieważ w jego publikacji przeszkodziła brytyjskiemu uczonemu służba wojskowa podczas I wojny światowej. Imieniem Soddy'ego nazwano jeden z kraterów na niewidocznej stronie Księżyca.

A to ciekawe

Jaka szkoda, że fuzja termojądrowa zachodzi tylko w skrajnie wysokich temperaturach i pod olbrzymim ciśnieniem. Ale czy na pewno? W 1989 r. świat obiegła sensacyjna wiadomość: amerykańscy chemicy Stanley Pons i Martin Fleischmann (czyt. flajszman) zaobserwowali oznaki tzw. zimnej fuzji deuteru, czyli łączenia jąder izotopu wodoru w temperaturze pokojowej. Naukowcy z innych ośrodków ruszyli do sprawdzania niesamowitych wyników. Niestety – okazało się, że badaczom żadnego z laboratoriów świata nie udało się ich potwierdzić. Prawdopodobnie Amerykanie zbyt optymistycznie zinterpretowali wyniki eksperymentu. Ich wnioski – jak wiele innych odważnych i ciekawych doniesień – nie wytrzymały procesu naukowej weryfikacji.



Łączenie czy rozpad

Energia może się uwalniać zarówno podczas syntezy (łączenia) pierwiastków lekkich, jak i w wyniku rozszczepiania pierwiastków ciężkich. Granicznym pierwiastkiem jest **żelazo**. W jego przypadku nie jesteśmy w stanie uzyskać energii ani podczas procesu łączenia jąder, ani na drodze ich rozszczepienia.

To najważniejsze

- W reakcjach łączenia lekkich jąder, np. jąder wodoru w jądra helu, wydziela się duża ilość energii. Reakcje takie nazywamy **reakcjami syntezy termojądrowej**. Są one m.in. źródłem energii Słońca i wielu innych gwiazd, jak również bomby termojądrowej (wodorowej).
- Do tej pory nie zbudowano elektrowni termojądrowych, ponieważ reakcja łączenia jąder wodoru zachodzi tylko w bardzo wysokiej temperaturze i pod dużym ciśnieniem.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Jak myślisz, czy podczas reakcji polegającej na rozbijaniu jądra helu na jądra wodoru wydzielałaby się energia?
2. Oceń, czy poniższe zdania są prawdziwe. Jeśli nie, popraw je tak, aby stały się prawdziwe.
   - **A.** Energia wydziela się wtedy, gdy jądra atomowe się łączą.
   - **B.** Energia wydziela się wtedy, gdy jądra atomowe dzielą się na mniejsze części.
3. Zastanów się, jaka substancja powstawałaby jako produkt końcowy w elektrowni termojądrowej, gdyby się udało ją zbudować. Czy ta substancja byłaby bezpiecznym odpadem? Do czego mogłaby służyć?
4. Znajdź w internecie informacje na temat National Ignition Facility. Odpowiedz na pytania:
   - **a)** Do czego służy to laboratorium?
   - **b)** Jaki rekord udało mu się uzyskać?
   - **c)** Jak podgrzewane są badane przez laboratorium substancje?

44 Masa i energia



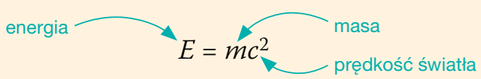
Energia zawarta w jednej takiej kapsułce pozwoliłaby na okrążenie świata dużym samolotem. W jaki sposób jest tam zmagazynowana?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, skąd pochodzi energia wyzwalana podczas różnych zjawisk.
- Poznasz sens najsłynniejszego wzoru fizycznego.

Najsłynniejszy wzór fizyki

Jednym z niewielu wzorów fizycznych, który pojawia się nawet w memach i na koszulkach, jest równanie:



Oznacza ono, że:

- Kiedy ciało emituje energię, traci na masie.
- Kiedy ciało zyskuje energię, jego masa się zwiększa.

Do przeliczania tych wielkości służy współczynnik c^2, czyli kwadrat prędkości światła. Odpowiada on ogromnej liczbie. Przecież już sama prędkość światła jest wielka, a co dopiero jej kwadrat!

$$c^2 = (3 \cdot 10^8 \tfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}})^2 = 9 \cdot 10^{16} \tfrac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} \approx 10^{17} \tfrac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}$$

Zatem:

- Zmiana masy o 1 kg odpowiada zmianie energii o ok. 10^{17} J (sto milionów miliardów dżuli).
- Zmiana energii o 1 J odpowiada zmianie masy o ok. 10^{-17} kg (jedna stumilionowa jednej miliardowej kilograma).

Zmiana masy przy ogrzewaniu

Nic dziwnego, że na co dzień nie obserwujemy zmian masy związanych ze zmianą energii. Przykładowo gdy ogrzejemy 1 kg żelaza o 1000°C, dostarczymy mu 450 kJ energii. Jego masa wzrośnie wtedy o:

$$\Delta m = \frac{450\,000\ \mathrm{J}}{c^2} = \frac{450\,000\ \mathrm{J}}{9 \cdot 10^{16}\ \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}} = 5 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{kg}$$

$$[\Delta m] = \frac{\mathrm{J}}{\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}} = \mathrm{J} \cdot \frac{\mathrm{s}^2}{\mathrm{m}^2} = \mathrm{N} \cdot \mathrm{m} \cdot \frac{\mathrm{s}^2}{\mathrm{m}^2} = \mathrm{kg} \cdot \frac{\cancel{\mathrm{m}}}{\cancel{\mathrm{s}^2}} \cdot \cancel{\mathrm{m}} \cdot \frac{\cancel{\mathrm{s}^2}}{\cancel{\mathrm{m}^2}} = \mathrm{kg}$$

czyli o pięć miliardowych grama – masę kilku bakterii.



Gorący kaloryfer ma większą masę niż zimny. Ale żadna waga nie pokaże tak małej zmiany

Zmiana masy w reakcji chemicznej

Obliczmy teraz zmianę masy w reakcji chemicznej spalania wodoru.

Przykład 1

Mieszanina piorunująca

Jeżeli połączymy 1 kg wodoru i 8 kg tlenu, wydzieli się $1{,}2 \cdot 10^{11}$ J energii. Jaka dokładnie masa wody powstanie w wyniku tej reakcji?

Dane:
$m_\mathrm{H} = 1$ kg
$m_\mathrm{O} = 8$ kg
$E = 1{,}2 \cdot 10^{11}$ J

Szukane:
$m_{\mathrm{H_2O}} = ?$

W wodzie na jeden atom tlenu przypadają dwa atomy wodoru, ale atom tlenu ma 16 razy większą masę niż atom wodoru. Dlatego na 1 kg wodoru przypada 8 kg tlenu.

Rozwiązanie: Łączna masa tlenu i wodoru to:

$$1\ \mathrm{kg} + 8\ \mathrm{kg} = 9\ \mathrm{kg}$$

Podczas reakcji wydzieliła się energia, która odpowiada masie:

$$\Delta m = \frac{E}{c^2}$$

$$\Delta m = \frac{1{,}2 \cdot 10^{11}}{(3 \cdot 10^8)^2} = \frac{1{,}2 \cdot 10^{11}}{9 \cdot 10^{16}} = 0{,}13 \cdot 10^{-5} = 1{,}3 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{kg}$$

$$[\Delta m] = \frac{\mathrm{J}}{(\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}})^2} = \frac{\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}}{\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}} = \frac{\mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot \mathrm{m}}{\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}} = \mathrm{kg}$$

$$\Delta m = 1{,}3 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{kg} = 1{,}3\ \mathrm{mg}$$

Zatem zamiast dokładnie 9 kg wody powstanie:

$$m_{\mathrm{H_2O}} = 9\ \mathrm{kg} - 0{,}0000013\ \mathrm{kg} = 8{,}9999987\ \mathrm{kg}$$

Odpowiedź: Masa wody powstałej w wyniku tej reakcji wynosi 8,9999987 kg.

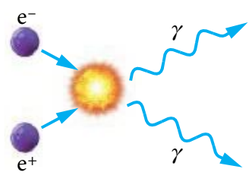
Zwróć uwagę na kontrast między ogromną wyzwoloną energią a praktycznie niezauważalnym ubytkiem masy w przykładzie 1. W wyniku reakcji wodoru z tlenem wydziela się bardzo dużo energii, dlatego mieszaninę tych gazów nazywamy mieszaniną piorunującą. Energia $1{,}2 \cdot 10^{11}$ J wystarczy, aby przeciętną żarówkę LED zasilać przez kilkaset lat bez przerwy. Tymczasem brakujący miligram masy jest niezwykle trudny do zarejestrowania.

Zmiana masy w reakcji jądrowej

Okazuje się, że w reakcjach jądrowych zmiana masy jest już zauważalna. Właśnie dlatego elektrownie jądrowe są tak wydajne, Słońce może świecić tak długo, a broń jądrowa jest tak śmiercionośna. Dzieje się tak, ponieważ zauważalna utrata masy w reakcjach jądrowych przekłada się na ogromne ilości energii.
Wykorzystanie zależności $E = mc^2$ do obliczania energii wyzwalanej w reakcjach jądrowych poznasz w następnej lekcji.

Czy można zmienić całą masę w energię

W ramce „A to ciekawe” na s. 245 napisaliśmy, że gdy antyatom spotka się ze zwykłym atomem, oba znikają i wytwarzają przy tym olbrzymią ilość energii. Taki proces, zwany **anihilacją**, to sposób na uwolnienie całej energii zawartej w danej masie. Energię tę nazywamy **energią spoczynkową** ciała.

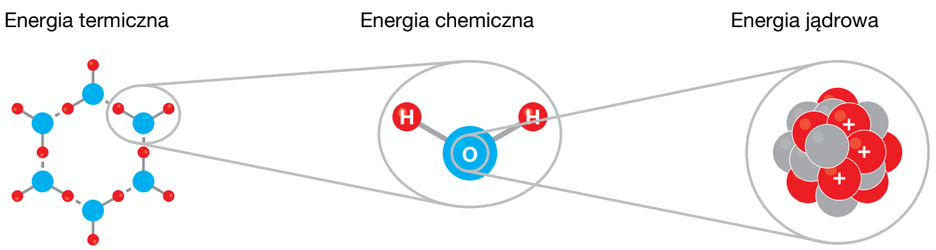


▲ Anihilacja elektronu i pozytonu (antyelektronu). W jej wyniku otrzymujemy tylko energię w postaci promieniowania

Energia spoczynkowa to energia odpowiadająca całej masie ciała.

O ile procent zmienia się masa?

Im bardziej zagłębiamy się w strukturę materii, z tym większą energią reakcji mamy do czynienia i tym większa zmiana masy następuje w czasie reakcji. Orientacyjne wielkości przedstawiono na rysunku.



Przykład 2

Anihilacja

Jaka energia powstaje, kiedy 1 kg antymaterii anihiluje z taką samą ilością materii? Całkowita moc maksymalna największej w Polsce elektrowni w Bełchatowie to 5000 MW. Ile czasu potrzebuje ona na wytworzenie takiej energii?

Dane:
$m = 1\text{ kg} + 1\text{ kg} = 2\text{ kg}$
$P = 5000\text{ MW} = 5 \cdot 10^9\text{ W}$

Szukane:
$E = ?$
$t = ?$

Rozwiązanie: Energię powstałą w wyniku anihilacji wyznaczamy z zależności:

$$E = mc^2$$

$$E = 2 \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 2 \cdot 9 \cdot 10^{16} = 18 \cdot 10^{16} = 1{,}8 \cdot 10^{17}$$

$$[E] = \text{kg} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$$

$$E = 1{,}8 \cdot 10^{17}\text{ J}$$

Aby obliczyć, po jakim czasie elektrownia w Bełchatowie wyprodukuje energię E, korzystamy ze wzoru definiującego moc:

$$P = \frac{E}{t}$$

i wyznaczamy z niego czas t:

$$t = \frac{E}{P}$$

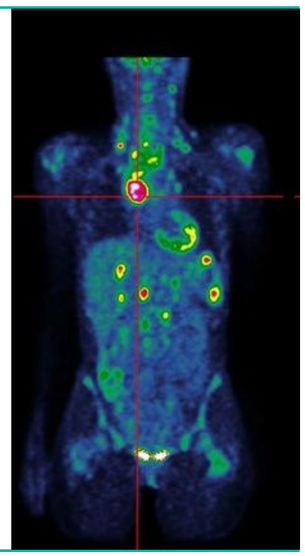
$$t = \frac{1{,}8 \cdot 10^{17}\text{ J}}{5 \cdot 10^9\text{ W}} = 0{,}36 \cdot 10^8\text{ s} = 3{,}6 \cdot 10^7\text{ s} = 416\text{ dni} \approx 1\text{ rok } 2\text{ miesiące}$$

Odpowiedź: W wyniku anihilacji powstaje $1{,}8 \cdot 10^{17}$ J energii, co odpowiada energii wytwarzanej w Bełchatowie w czasie ok. 1 roku i 2 miesięcy.

W tym czasie elektrownia w Bełchatowie spali ponad 40 mln ton węgla brunatnego.

A to ciekawe

Czy antymaterię można spotkać w naszym codziennym życiu? Taką okazję mają pacjenci w trakcie badania techniką pozytonowej tomografii emisyjnej PET, podczas której podaje się im substancję promieniotwórczą podlegającą rozpadowi beta plus. Taka reakcja jest podobna do znanej ci już reakcji rozpadu beta, ale zamiast elektronu powstaje pozyton (antyelektron). Rozpadowi beta plus ulega np. fluor-18. Kiedy wzbogacona w niego deoksyglukoza dostanie się do organizmu, zaczynają go pochłaniać komórki rakowe. Fluor rozpada się i emituje pozytony.
Pozytony wkrótce anihilują z pobliskimi elektronami, a z każdej takiej anihilacji powstają dwa fotony, biegnące w przeciwne strony. Są one wykrywane przez detektory otaczające pacjenta. Dzięki temu można określić dokładne miejsce powstania pozytonów i zidentyfikować najaktywniejsze metabolicznie obszary w ciele.



To najważniejsze

- Ciało emitujące energię traci masę. Utratę masy można obliczyć ze wzoru $E = mc^2$.
- Całkowitą ilość energii, jaką można wyzwolić wtedy, gdy zamieni się na nią całą masę ciała, nazywamy **energią spoczynkową** tego ciała.
- Zasada zachowania energii obowiązuje również w trakcie przemian chemicznych i jądrowych: bardzo dokładne rachunki wymagają wtedy uwzględnienia energii zawartej w zmieniającej się masie.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. P1 Metan (CH_4) jest głównym składnikiem gazu ziemnego. Podczas spalania 1 kg metanu łączy się on z 4 kg tlenu – powstają dwutlenek węgla i para wodna. W tej reakcji wydziela się 56 MJ energii. Oblicz masę produktów opisanej reakcji.

2. P2 Porównaj energię spoczynkową królika o masie 6 kg z roczną produkcją energii elektrycznej w Polsce, która wynosi ok. $7{,}4 \cdot 10^{17}$ J.



3. Ania podgrzała w czajniku litr wody od 20°C do 100°C. O ile wzrosła masa podgrzanej wody? Wyraź tę różnicę w liczbie bakterii (na zdjęciu widzisz przykładowe bakterie – pałeczki okrężnicy). Przyjmij, że jedna bakteria waży 10^{-15} kg.



4*. Moc promieniowania Słońca wynosi $P = 4 \cdot 10^{26}$ W.

a) Oblicz, ile masy traci w ciągu sekundy Słońce wskutek wypromieniowania energii. Jakie rozmiary miałaby granitowa sześcienna kostka o tej samej masie? Gęstość granitu to $d = 2750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

b) Załóżmy, że Słońce świeci ze zbliżoną mocą od 4,5 mld lat. Oblicz masę, jaka zamieniła się w tym czasie w energię. Porównaj tę masę z masą Ziemi $m_Z = 6 \cdot 10^{24}$ kg.

45 Deficyt masy



Lodołamacze przez wiele miesięcy pozostają na morzu bez możliwości tankowania. Jak zapewnić im wystarczające zasoby paliwa?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, skąd pochodzi energia wydzielana podczas reakcji jądrowych.
- Nauczysz się obliczać i porównywać wydajność poszczególnych reakcji jądrowych.

Deficyt masy

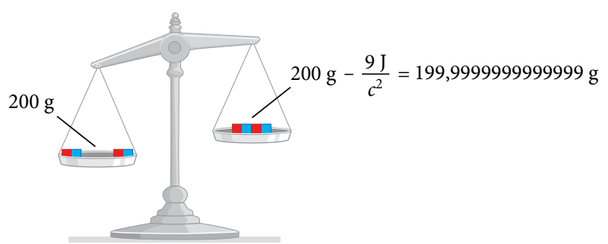
Jak już wiesz, masa ciała zwiększa się wtedy, gdy dostarczamy mu energii. Przeanalizuj sytuację przedstawioną na rysunku poniżej:

- aby rozłączyć magnesy, trzeba wykonać pracę – w tym przypadku jest to praca 9 J,
- wobec tego rozłączone magnesy mają o 9 J większą energię niż połączone,
- mają więc także większą masę.

Obliczmy tę różnicę masy. Ze wzoru $E = mc^2$ otrzymujemy

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{9\ \text{J}}{(3 \cdot 10^8\ \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} = 10^{-16}\ \text{kg} = 10^{-13}\ \text{g}$$

Zatem jeśli przed połączeniem magnesów każdy z nich ma masę 100 g, to po połączeniu ich masa nie wynosi 200 g, ale mniej o 10^{-13} g, czyli o jedną dziesięciobilionową grama. Tę różnicę nazywamy **deficytem masy.**



Masa dwóch połączonych magnesów jest minimalnie mniejsza niż masa magnesów niepołączonych

Deficyt masy w reakcjach jądrowych

Różnicy 10^{-13} g nie zmierzymy za pomocą żadnej wagi. Nic dziwnego, że w życiu codziennym nie zauważamy deficytu masy.
Inaczej jest w reakcjach jądrowych, gdzie deficyt masy może stanowić zauważalną część masy jąder biorących udział w reakcji. Dzięki temu na podstawie deficytu masy możemy obliczać energię wydzielaną w takich reakcjach.

Przykład 1

Synteza helu

O ile różni się masa jądra helu od sumy mas jego poszczególnych składników? Jaki to procent sumy mas składników? Dane odczytaj z tablic fizycznych.
Ponieważ różnica masy może być niewielka, obliczenia należy wykonać z dużą dokładnością.



Dane:
Odczytujemy z tablic:
$m_{\text{protonu}} = 1{,}6726 \cdot 10^{-27}$ kg
$m_{\text{neutronu}} = 1{,}6749 \cdot 10^{-27}$ kg
$m_{\text{jądra helu}} = 6{,}6447 \cdot 10^{-27}$ kg

Szukane:
$\Delta m = ?$

Rozwiązanie: Obliczamy łączną masę dwóch protonów i dwóch neutronów.

$$2m_{\text{protonu}} + 2m_{\text{neutronu}} = 2 \cdot 1{,}6726 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} + 2 \cdot 1{,}6749 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} = 6{,}6950 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$$

Obliczamy różnicę sumy poszczególnych składników i masy jądra helu.

$$\Delta m = 2m_{\text{protonu}} + 2m_{\text{neutronu}} - m_{\text{jądra helu}}$$

$$\Delta m = 6{,}6950 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} - 6{,}6447 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} = 0{,}0503 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} = 5{,}03 \cdot 10^{-29}\ \text{kg}$$

W stosunku do łącznej masy cząstek przed połączeniem różnica ta wynosi:

$$\frac{\Delta m}{2m_{\text{protonu}} + 2m_{\text{neutronu}}} = \frac{0{,}0503 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}}{6{,}6950 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}} \approx 0{,}008 = 0{,}8\%$$

Odpowiedź: Masa jądra helu jest mniejsza od masy jego poszczególnych składników o $5{,}03 \cdot 10^{-29}$ kg, czyli o ok. 0,8%.

Energia wiązania jądra

Różnica mas obliczona w przykładzie 1. to właśnie deficyt masy jądra helu. Zgodnie ze wzorem $E = mc^2$ odpowiada on energii $4{,}5 \cdot 10^{-12}$ J. Taka energia wyzwoli się podczas syntezy jądra helu z dwóch protonów i dwóch neutronów.
Jeśli z kolei chcielibyśmy jądro helu rozszczepić na pojedyncze protony i neutrony, musielibyśmy ponownie dostarczyć do niego taką samą energię. Dlatego nazywamy ją **energią wiązania jądra**.

Energia wiązania jądra to energia potrzebna do rozszczepienia jądra na poszczególne składniki. Jej wartość zależy od deficytu masy zgodnie ze wzorem $E = mc^2$.

Jeśli podzielimy energię wiązania jądra przez liczbę znajdujących się w nim protonów i neutronów, to otrzymamy energię wiązania przypadającą na jeden nukleon. Im większa jest ta energia, tym mocniej są ze sobą związane nukleony i tym trudniej dane jądro rozszczepić. Największą energię wiązania mają jądra żelaza – dlatego właśnie nie można uzyskać energii ani z ich rozszczepienia, ani z syntezy.

Energia rozpadu i energia syntezy

Wiesz, że wzór $E = mc^2$ pozwala obliczyć, ile energii wydziela się w reakcjach jądrowych.

Przykład 2

Rozszczepienie uranu

Oblicz, ile energii wydzieli się podczas rozszczepienia 1 kg uranu w procesie opisanym za pomocą równania:

$$^{235}_{92}\text{U} + {}^{1}_{0}\text{n} \rightarrow {}^{93}_{36}\text{Kr} + {}^{140}_{56}\text{Ba} + 3{}^{1}_{0}\text{n}$$

Potrzebne masy odczytaj z tablic na końcu podręcznika.

Dane:
$m_{\text{U}} = 390{,}2158 \cdot 10^{-27}$ kg
$m_{\text{n}} = 1{,}6749 \cdot 10^{-27}$ kg
$m_{\text{Kr}} = 154{,}2832 \cdot 10^{-27}$ kg
$m_{\text{Ba}} = 232{,}2760 \cdot 10^{-27}$ kg

Szukane:
$E = ?$

Rozwiązanie: Obliczamy różnicę między masą jąder przed rozszczepieniem i po nim.

$$\Delta m = (390{,}2158 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} + 1{,}6749 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}) - (154{,}2832 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} + 232{,}2760 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} + 3 \cdot 1{,}6749 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}) = 0{,}3068 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$$

Obliczamy, jaki ułamek masy jąder uranu stanowi ten ubytek masy.

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{0{,}3068 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}}{390{,}2158 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}} = 0{,}000786 = 0{,}0786\%$$

W takim razie podczas rozszczepienia 1 kg uranu ubytek masy będzie stanowić 0,000786 kg. Rozszczepieniu temu odpowiada energia:

$$E = mc^2$$

$$E = 0{,}000786\ \text{kg} \cdot 3 \cdot 10^{8} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 0{,}000786\ \text{kg} \cdot 9 \cdot 10^{16}\ \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \approx 7 \cdot 10^{13}\ \text{J}$$

Odpowiedź: Podczas rozszczepienia 1 kg uranu wydzieli się ok. $7 \cdot 10^{13}$ J energii.

Uwaga. Aby uzyskać taką samą energię w tradycyjnej elektrowni, trzeba spalić ponad 2 tysiące ton węgla. Małe ilości wykorzystywanego paliwa to jeden z powodów wykorzystania reaktorów jądrowych nie tylko do napędzania turbin elektrowni, lecz także niektórych wielkich okrętów, np. lodołamaczy.

Wnioski z przykładu 2.

Metodą pokazaną w przykładzie 2. możemy obliczać także energię wyzwalaną w innych przemianach jądrowych. Na przykład możemy w ten sposób obliczyć, ile energii uzyskalibyśmy z syntezy helu z wodoru, gdyby udało się nam zbudować elektrownię termojądrową.

> Energię wyzwoloną podczas reakcji jądrowych można obliczyć przez porównanie mas substancji przed reakcją i po niej.

To najważniejsze

- Różnicę między masą składników jądra a masą jądra nazywamy **deficytem masy**.
- **Energia wiązania jądra** E to energia potrzebna do rozszczepienia jądra na poszczególne składniki. Jej wartość zależy od deficytu masy zgodnie ze wzorem $E = mc^2$.
- Energię wyzwoloną podczas reakcji jądrowych można obliczyć przez porównanie masy substancji przed reakcją i po niej.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Z par identycznych ciał wybierz te o minimalnie większej masie.

a) *zimny czajnik* / *gorący czajnik*

b) *tlen i węgiel przed reakcją* / *otrzymany z nich dwutlenek węgla*

c) *napięta sprężyna* / *luźna sprężyna*

d) *naładowany powerbank* / *rozładowany powerbank*

2. P1 Oblicz deficyt masy i energię wiązania jądra węgla $^{12}_{6}C$.

3. Oblicz energię, jaka wydzieliłaby się w procesie uzyskania 1 kg węgla z protonów i neutronów. Następnie porównaj ją z energią uzyskaną ze spalenia tego węgla, równą $3{,}3 \cdot 10^7$ J.



4. P2 W planowanym reaktorze termojądrowym ITER ma zachodzić następująca reakcja:

$$^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$$

a) Oblicz, ile energii można by uzyskać z kilograma mieszaniny potrzebnych izotopów wodoru.

b) Porównaj otrzymaną wielkość z energią uzyskaną ze spalania 1 kg węgla ($3{,}3 \cdot 10^7$ J). Zapisz w zeszycie wnioski.

5. Podaj najwyższą wartość temperatury, jaką udało się osiągnąć w laboratoriach na Ziemi. Znajdź w internecie informację, jaką metodą tego dokonano i jak długo taka temperatura się utrzymała. Zapisz, z jakich źródeł korzystałeś.

F

46 Życie Słońca



Co stanie się z Ziemią, gdy zapas paliwa w Słońcu się wyczerpie?

Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak powstało Słońce i jakie będą jego dalsze losy.
- Poznasz przyszłość Ziemi i Układu Słonecznego.

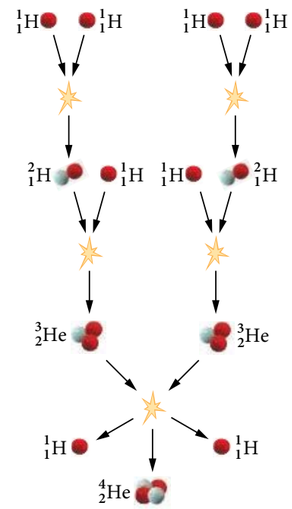
Zagadkowe Słońce

Jak długo będzie żyło Słońce? Dlaczego świeci? Jeszcze pod koniec XIX w. wydawało się, że nigdy się tego nie dowiemy. Dzięki wykopaliskom paleontologów wiedziano, że Ziemia i Słońce muszą mieć co najmniej kilkaset milionów lat (dziś wiemy, że ok. 4,5 mld lat). Nikt nie umiał sobie jednak wyobrazić, co mogłoby podtrzymywać świecenie Słońca przez tak długi czas. Gdyby całe Słońce było zbudowane np. z płonącego węgla, wypaliłoby się dawno temu. Skąd zatem czerpie energię?

Dlaczego Słońce świeci

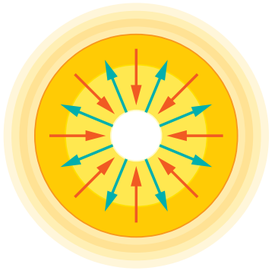
Rozwiązanie tej zagadki przyniosła dopiero fizyka jądrowa. Jak już wiesz, Słońce jest olbrzymim reaktorem termojądrowym.

> Słońce świeci dzięki **reakcjom termojądrowym łączenia (syntezy)** jąder wodoru w jądra helu.



▲ Synteza wodoru w hel zachodząca w Słońcu

Reakcje te zachodzą w jego wnętrzu w bardzo wysokiej temperaturze (ok. 15 mln stopni) i pod bardzo wysokim ciśnieniem (wiele miliardów atmosfer).
Jest to więc taka sama reakcja termojądrowa jak w bombie wodorowej.
Słońce nie wybucha, ponieważ potężne ciśnienie rozpalonego gazu jest równoważone przez nacisk grawitacyjny zewnętrznych warstw gwiazdy (patrz rys.).



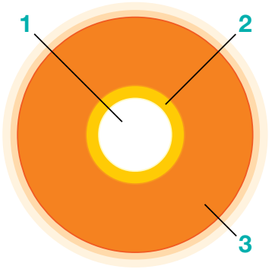
▲ Równowaga ciśnień w Słońcu

Wiek i dalszy czas życia Słońca

Wiemy, że Słońce liczy sobie ponad 4,5 mld lat i będzie świecić przez dalsze 7 mld lat. Zatem Słońce można traktować jako gwiazdę znajdującą się niemal w połowie życiowej drogi.

Czerwony olbrzym

Za ok. 6 mld lat od dziś cały wodór dostępny w słonecznym jądrze zmieni się w hel. Co się wtedy stanie? Słońce powiększy się tak bardzo, że pochłonie orbitę Wenus, a być może również Ziemi. Za to warunki sprzyjające życiu mogą się pojawić na powierzchni księżyców Jowisza i Saturna.
Słońce zmieni też kolor na czerwony i stanie się **czerwonym olbrzymem**.



1. Jądro nieco się skurczy.
2. Rozpocznie się przemiana wodoru w hel w otoczce jądra.
3. Zewnętrzne warstwy znacznie zwiększą swoją objętość.

▲ Słońce za 6 mld lat

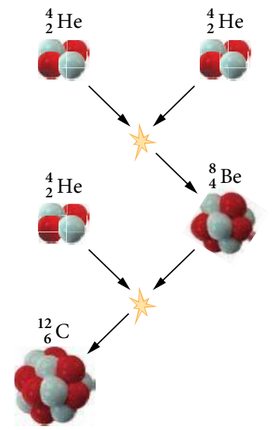
Synteza węgla z helu

Nieco później w jądrze Słońca zacznie się synteza węgla z helu:

$$3\,{}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{12}_{6}\mathrm{C}$$

> Za ok. 7 mld lat w jądrze Słońca rozpocznie się reakcja przemiany helu w węgiel.

W tej reakcji nie wyzwala się już tak dużo energii jak podczas przemiany wodoru w hel. Przewiduje się, że helu wystarczy tylko na ok. 100 mln lat. Pod koniec tego okresu nasza gwiazda będzie gwałtowne traciła gaz i odrzucała znaczną część zewnętrznych warstw.



▲ Schemat reakcji przemiany helu w węgiel

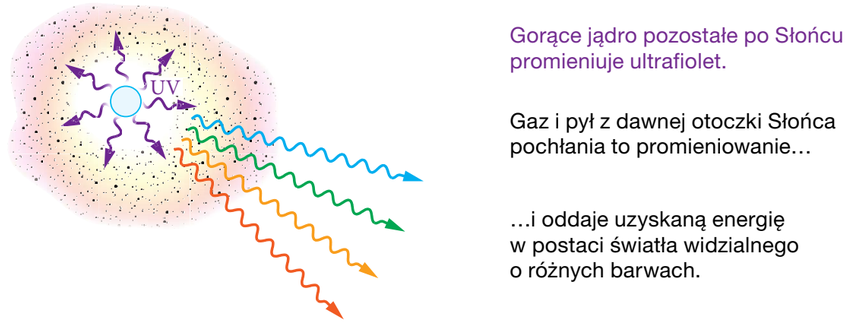
Mgławica planetarna

Gdy wyczerpie się również hel, historia Słońca zacznie zmierzać do finału. Gwiazda pozbawiona źródła energii będzie przygasać i stygnąć.



▲ Mgławica planetarna Kocie Oko

Zewnętrzne warstwy ulecą w przestrzeń kosmiczną i odsłonią wciąż gorące jądro. Przez kilkanaście tysięcy lat jego ultrafioletowe promieniowanie będzie pobudzało do świecenia odrzuconą otoczkę, która rozbłyśnie różnymi kolorami. Z odległych światów będzie ją można podziwiać jako piękną **mgławicę planetarną**.



▲ Wyjaśnienie, dlaczego mgławica planetarna świeci

Biały karzeł

Gdy mgławica planetarna się rozproszy, ze Słońca pozostanie już tylko stygnące, niezwykle małe i gęste jądro dawnego Słońca. Jego masa będzie tylko dwukrotnie mniejsza od dzisiejszej, ale rozmiary będą podobne do rozmiarów Ziemi. Tak niewielkie, ale gęste obiekty nazywamy **białymi karłami**.

Czarny karzeł

Po kolejnych miliardach lat gasnące i stygnące Słońce stanie się **czarnym karłem** – jeszcze mniejszą, zimną, gęstą kulą, trudną do zauważenia z okolic innych gwiazd. Czy ludzkość będzie jeszcze wtedy istniała? Jeśli tak, to osiedlona w innym układzie planetarnym.

To najważniejsze

- Słońce świeci dzięki reakcjom termojądrowym łączenia (syntezy) jąder wodoru w jądra helu, zachodzącym we wnętrzu gwiazdy w bardzo wysokiej temperaturze i pod bardzo wysokim ciśnieniem.
- Słońce ma już ok. 4,5 mld lat i będzie świecić jeszcze przez ok. 7 mld lat.
- Za ok. 6 mld lat Słońce rozszerzy się tak, że pochłonie Merkurego i Wenus, a może nawet Ziemię.
- Gdy wodór w jądrze się skończy, Słońce będzie uzyskiwać energię dzięki reakcji syntezy jąder helu w jądra węgla. Potem synteza ustanie, a Słońce ostygnie.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Załóżmy, że ludzkość dotrwa do chwili, gdy za ok. 6 mld lat Słońce stanie się czerwonym olbrzymem. Załóżmy, że żyć będą wtedy nasi potomkowie. Oszacuj, ile pokoleń przeminie, zanim się to stanie.

2. Podaj właściwą kolejność etapów życia Słońca.

czerwony olbrzym • biały karzeł
• gwiazda produkująca hel z wodoru
• czarny karzeł

3. a) Uzupełnij zdania.

Aby uzyskać jedno jądro $^{12}_{6}C$, trzeba połączyć ////////// jądra helu $^{4}_{2}He$. Taka reakcja będzie zachodzić w Słońcu za ok. ////////// lat i przebiegać znacznie szybciej niż obecny proces syntezy helu z wodoru.

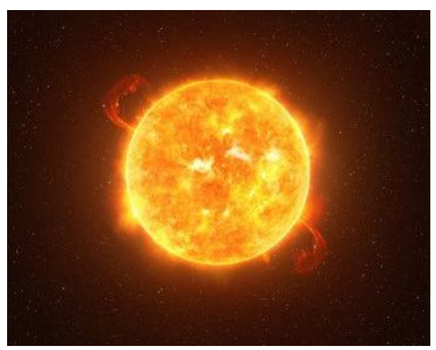
b) Oblicz energię, która wydziela się w takiej reakcji z 1 kg helu.

4. Promień Słońca wynosi w tej chwili ok. $7 \cdot 10^8$ m. Gdy stanie się ono czerwonym olbrzymem, będzie miało masę podobną do dzisiejszej, ale jego promień będzie mniej więcej równy obecnej odległości Ziemi od Słońca ($1{,}5 \cdot 10^{11}$ m). Z kolei gdy Słońce zostanie białym karłem, jego promień skurczy się do rozmiarów tylko nieznacznie większych od promienia Ziemi (ok. 9000 km). Masa Słońca zmniejszy się wtedy dwukrotnie i będzie wynosiła ok. 10^{30} kg. Oblicz średnią gęstość Słońca:

a) obecnie,

b) gdy stanie się ono czerwonym olbrzymem,

c) gdy stanie się ono białym karłem.



F

47 Życie gwiazd – kosmiczna menażeria



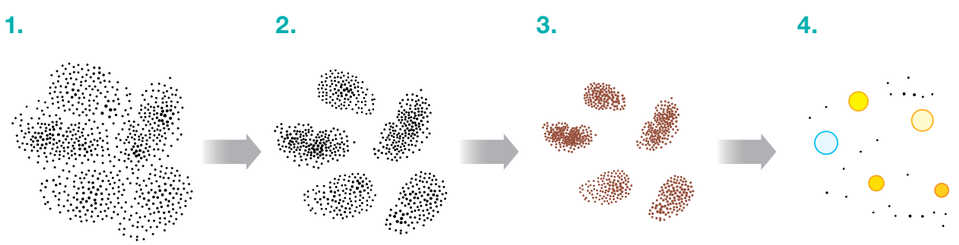
Skąd wzięło się złoto na Ziemi?

Cele lekcji:
- Poznasz przebieg ewolucji gwiazd znacznie masywniejszych od Słońca.
- Dowiesz się, jak powstają supernowe i czarne dziury.

Narodziny gwiazd

Jak narodziło się Słońce i jego sąsiadki? Gwiazdy powstają z olbrzymich, ale bardzo rozrzedzonych obłoków gazowych (patrz **1.** na rysunku poniżej).

- Pod wpływem własnej grawitacji obłok zaczyna się kurczyć i zapadać – **2.**
- Następnie dzieli się na mniejsze fragmenty. W miarę, jak fragmenty obłoku się zapadają, ich temperatura rośnie – **3.**
- Po pewnym czasie w środku każdego takiego fragmentu powstaje gorąca kula gazowa – przyszła gwiazda – otoczona resztkami wciąż spływającej na nią materii – **4.**



▲ Etapy narodzin gwiazd, opisane powyżej

A to ciekawe

W kosmosie jest wiele obłoków gazu, a nie wszystkie zaczynają się kurczyć i tworzyć gwiazdy. Czego więc jeszcze potrzeba? Otóż pierwszy impuls może dać pobliski (w skali kosmicznej) wybuch supernowej, który zdmuchuje w jedno miejsce nieco więcej gazu. Jego zwiększona gęstość wystarcza, aby dalej kurczył się on pod wpływem własnej grawitacji. Na zdjęciu widzimy pozostałości po wybuchu supernowej z gwiazdozbioru Kasjopei – na niebiesko zaznaczono promieniowanie rentgenowskie wyrzuconego przez nią gazu zderzającego się z otaczającą materią. Astronomowie podejrzewają, że na skutek wybuchu supernowej powstało również nasze Słońce.



Gwiazda zaczyna świecić

Gdy temperatura we wnętrzu kuli wzrośnie na tyle, aby mogła się w niej rozpocząć reakcja łączenia (syntezy) jąder wodoru w hel, rozpoczyna się zwykłe życie gwiazdy. Z resztek materii, która nie opadła na gwiazdę, mogą powstać planety – właśnie tak narodził się Układ Słoneczny.

Dalsze życie gwiazdy

Chociaż pierwszy etap życia gwiazd przebiega podobnie, ich dalsze losy zależą od ich masy i ewentualnej obecności towarzyszek.

> Cykl życia gwiazdy zależy od jej masy.

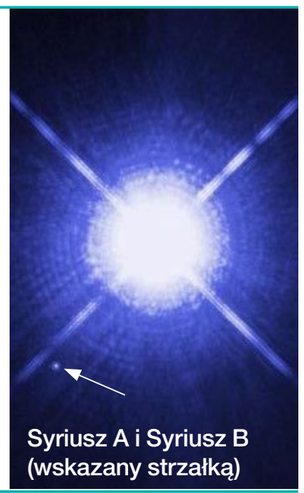
Na infografice na kolejnych stronach przedstawiamy cykl życia typowej samotnej gwiazdy. Przeanalizuj życie gwiazd. Zastanów się, jaki los czekałby Słońce, gdyby miało większą masę.



▲ Z widocznych na zdjęciu obłoków międzygwiezdnego pyłu i gazu w mgławicy Orzeł powstaje nowe pokolenie gwiazd

A to ciekawe

Wiele gwiazd nie przemierza przestrzeni kosmicznej samotnie, ale ma towarzyszkę lub towarzyszki. Syriuszowi – najjaśniejszej gwieździe nocnego nieba – towarzyszy słabo świecący biały karzeł (patrz zdjęcie). To, co dostrzegamy jako Gwiazdę Polarną, w rzeczywistości jest trzema gwiazdami, a to, co podziwiamy jako jasnego Kastora z gwiazdozbioru Bliźniąt – aż sześcioma.
Ewolucja takich układów, zwłaszcza jeśli gwiazdy krążą blisko siebie, jest jeszcze ciekawsza od ewolucji gwiazd pojedynczych. Jeśli początkowo dwie gwiazdy są bardzo masywne, mogą zakończyć życie jako para gwiazd neutronowych lub czarnych dziur, które stopniowo zbliżają się do siebie. Obecnie uważa się, że złoto powstaje głównie w trakcie zderzeń dwóch okrążających się gwiazd neutronowych.



Syriusz A i Syriusz B (wskazany strzałką)

Dzieci gwiazd

W jaki sposób powstałe w gwiazdach pierwiastki trafiły na Ziemię? Przypomnijmy, że każda gwiazda na pewnym etapie swojego życia traci część masy. Ta materia, zawierająca wyprodukowane w gwiazdach cięższe pierwiastki, ulatuje w kosmos i dołącza do międzygwiezdnych obłoków wodoru i helu.
Z czasem takie obłoki się zapadają i dają początek kolejnemu pokoleniu gwiazd. Cały Układ Słoneczny wraz ze Słońcem powstał z takiego obłoku.
Fizycy potrafią dziś stwierdzić, że niektóre spotykane na Ziemi izotopy dotarły na naszą planetę na skutek wybuchu supernowych, a z kolei inne pochodzą z gwiazd podobnych do Słońca, które zakończyły już swój cykl życiowy. Można więc powiedzieć, że jesteśmy prawdziwymi dziećmi gwiazd.



▲ Mgławica pozostała po wybuchu supernowej obserwowanej w 1054 r.

Miliardy innych światów

Nowe gwiazdy i planety powstają we Wszechświecie również obecnie. Jednym z obszarów ich tworzenia jest Mgławica Orzeł (M16) w gwiazdozbiorze Węża (patrz zdjęcie i obserwacje po tej lekcji). Dziś trudno jeszcze stwierdzić, jak wiele planet obiega gwiazdy, ale podejrzewa się, że jest ich w Galaktyce co najmniej tyle samo co gwiazd. Obecnie znamy tysiące pozasłonecznych planet. Większość z nich jest podobna do Jowisza lub Neptuna, część stanowią też kilkakrotnie masywniejsze od naszej planety super-Ziemie.



▲ Mgławica Orzeł

A to ciekawe

Pierwsze planety obiegające gwiazdę inną niż Słońce odkrył w 1992 r. polski astronom Aleksander Wolszczan. Nazwano je imionami Poltergeista (złośliwego i hałaśliwego ducha), Fobetora (boga sennych koszmarów) i Draugra (żywego trupa) – fantastycznych istot, które po śmierci wróciły do świata żywych, aby straszyć i przerażać. Macierzysta gwiazda, pulsar pozostały po eksplozji supernowej, otrzymała imię Lich, oznaczające istotę, w którą po śmierci zamieniają się czarnoksiężnicy.
Trudno się spodziewać, aby warunki panujące na tych planetach przypominały ziemskie. Być może jednak już niedługo odnajdziemy gwiazdę podobną do Słońca obieganą przez planety podobne do Ziemi. Czy będą bardzo odległe? W jaki sposób będziemy je badać? Te pytania wciąż czekają na odpowiedzi.



Życie gwiazd

Jak myślisz, czy życie wszystkich gwiazd wygląda tak samo? Jak się okazuje, los większości z nich żależy od początkowej masy gwiazdy.

najlżejsze gwiazdy

najcięższe gwiazdy

gwiazda o masie podobnej do Słońca

POCZĄTEK

OBŁOK GAZOWY

Na początku materia przyszłej gwiazdy ma postać rozległego obłoku gazu i pyłu. Pod wpływem grawitacji obłok kurczy się, gęstnieje i wzrasta jego temperatura. W końcu zaczynają zachodzić reakcje termojądrowe – powstaje gwiazda.

DOJRZAŁA GWIAZDA

W pierwszym, najdłuższym okresie życia gwiazdy w jej wnętrzu z wodoru powstaje hel. Na tym etapie jest obecnie Słońce.

Gdy w jądrze gwiazdy zakończy się synteza helu z wodoru, proces ten przenosi się do otoczki jądra. Gwiazda powiększa się i ochładza – staje się czerwonym olbrzymem.

BIAŁY KARZEŁ

Gdy przemiany termojądrowe dobiegną końca, gwiazda odrzuca zewnętrzne warstwy i staje się białym karłem – supergęstą stygnącą kulą gazową o promieniu kilku-kilkunastu tysięcy kilometrów.

Zwykle reakcja ta zatrzymuje się na produkcji niezbyt ciężkich pierwiastków, a gwiazda staje się białym karłem.

CZERWONY OLBRZYM

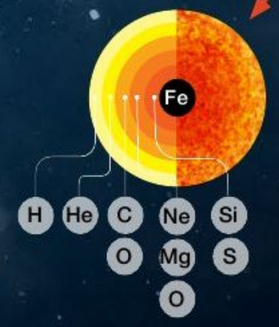
Wkrótce rozpoczyna się synteza węgla z helu. Kiedy wyczerpie się zapas helu, jądra węgla łączą się i tworzą jądra kolejnych pierwiastków o jeszcze większej liczbie protonów.

CZARNY KARZEŁ

Gdy biały karzeł wypromieniuje wszystkie zapasy energii, staje się ciemną i zimną kulą materii.

DOJRZAŁA MASYWNA GWIAZDA

Gwiazda zaczyna przypominać cebulę: w jej zewnętrznej otoczce z wodoru tworzy się hel, a w głębszych warstwach powstają kolejne cięższe pierwiastki. Tworzą się one do chwili, gdy w centrum gwiazdy powstanie żelazo. Z łączenia jego jąder nie można już uzyskać energii.



Pozbawiona paliwa gwiazda się zapada. Jej zewnętrzne warstwy odbijają się od wnętrza i gwiazda wybucha jako supernowa.

WYBUCH SUPERNOWEJ

Pozostała po wybuchu część materii zaczyna się zapadać pod wpływem własnej grawitacji. Staje się bardzo gęstą, złożoną głównie z neutronów gwiazdą neutronową lub czarną dziurą.

GWIAZDA NEUTRONOWA

Promień gwiazdy neutronowej to zaledwie 10 – 14 km, a jej gęstość przekracza 1 mld $\frac{kg}{cm^3}$. Niektóre gwiazdy neutronowe (pulsary) obracają się nawet setki razy na sekundę, emitując promieniowanie, które na Ziemi rejestrujemy w postaci regularnych błysków.

CZARNA DZIURA

Z najmasywniejszych supernowych powstają czarne dziury – gwiazdy, z których nie może uciec nawet światło. Czarnych dziur nie możemy bezpośrednio zaobserwować, ale wiemy, że istnieją, ponieważ obserwujemy ich wpływ na inne gwiazdy. Umiemy też rejestrować fale grawitacyjne wysyłane przez zderzające się czarne dziury.

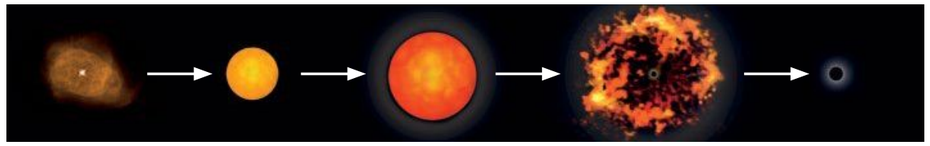
Materia odrzucona przez supernowe i inne tracące masę gwiazdy, wzbogacona w ciężkie pierwiastki, wraca do obłoków międzygwiezdnych, z których utworzy się kolejne pokolenie gwiazd.

To najważniejsze

- Gwiazdy tworzą się z obłoków gazowych kurczących się pod wpływem grawitacji.
- Najlżejsze gwiazdy stygną wtedy, gdy cały dostępny w jądrze wodór zmieni się w hel.
- W gwiazdach o większej masie hel zmienia się w węgiel. Jeśli gwiazda ma bardzo dużą masę, węgiel zmienia się w kolejne pierwiastki do momentu, aż powstanie żelazo.
- Końcowym etapem życia niezbyt masywnej gwiazdy jest **biały karzeł**, gwiazdy masywnej – **gwiazda neutronowa** lub **czarna dziura**.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Czy powyższy rysunek przedstawia losy gwiazdy lekkiej czy ciężkiej? Wymyśl i zapisz w zeszycie podpisy do poszczególnych ilustracji.

2. Określenie ludzi jako „dzieci gwiazd” oznacza, że:

A. gwiazdy pozwalały nam w dawnych czasach widzieć w nocy i chronić się przed drapieżnikami.

B. każdy ma swoją ulubioną gwiazdę.

C. składamy się z pierwiastków powstałych we wnętrzach gwiazd.

3. Pewien pulsar o promieniu 12 km obraca się 50 razy na sekundę wokół własnej osi. Oblicz prędkość, z jaką poruszają się punkty na jego równiku.

4. Promień pewnej gwiazdy neutronowej wynosi 12 km, a jej masa jest równa masie Słońca ($2 \cdot 10^{30}$ kg). Oblicz:

a) średnią gęstość tej gwiazdy,

b) jaką masę miałaby szklanka materii pochodzącej z tej gwiazdy. Szklanka ma objętość ok. 250 cm^3.

Obserwacje

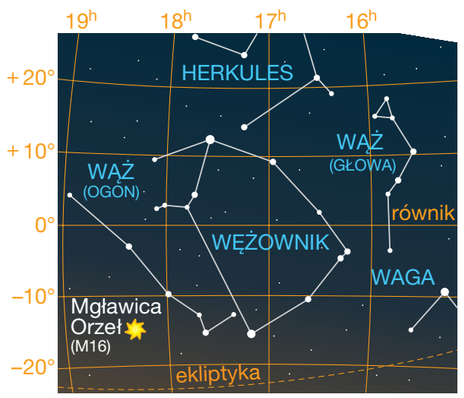
Mgławica Orzeł

1. Obserwacje wykonaj latem, kiedy na polskim niebie widać gwiazdozbiór Węża.

2. Skorzystaj z mapki zamieszczonej obok. W lewym dolnym rogu zaznaczono miejsce, gdzie na niebie można znaleźć Mgławicę Orzeł.

3. Znajdź tę mgławicę na niebie. Jest to obszar, w którym powstają nowe gwiazdy.

Uwaga. Jeśli obserwacje prowadzisz zimą, poszukaj Wielkiej Mgławicy w Orionie, w której również powstają nowe gwiazdy.



F

48 Wszechświat



Dlaczego najdalsze galaktyki wyglądają inaczej niż bliższe?

Cele lekcji:
- Dowiesz się, jak Wszechświat rozpoczął swoje istnienie.
- Poznasz losy Wszechświata i metody jego badania.

Galaktyki

Wszystkie gwiazdy, które widzisz na niebie, znajdują się w naszej Galaktyce (Drodze Mlecznej), a emitowane przez nie światło biegnie na Ziemię najwyżej kilkaset tysięcy lat.

Jednak Wszechświat jest o wiele większy – nawet położone stosunkowo blisko inne skupisko gwiazd, Galaktyka Andromedy (patrz zdjęcie obok), znajduje się w odległości ok. 2,5 mln lat świetlnych od nas. To oznacza, że światło biegnie od niej ku Ziemi przez 2,5 mln lat.

Tysiące razy dalej znajduje się wiele innych galaktyk.

Nazwa Galaktyka (pisana dużą literą) oznacza galaktykę, w której żyjemy, podobnie jak księżyc Ziemi nazywa się Księżyc.

Wszechświat się rozszerza

Gdy astronomowie nauczyli się wyznaczać prędkości odległych galaktyk i odległości do nich, okazało się, że dalekie galaktyki oddalają się od nas, i to szybciej niż te położone bliżej.

Tę zależność odkrył Edwin Hubble, dlatego nazywamy ją **prawem Hubble’a**.

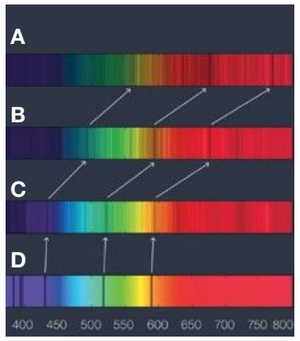


▲ Galaktyka Andromedy przypomina widzianą z zewnątrz Drogę Mleczną

Jak mierzymy prędkość galaktyk

W tym celu wykorzystujemy efekt Dopplera. Podczas obserwacji światła dochodzącego z odległych galaktyk Hubble odkrył, że ma ono większą długość fali niż światło nieruchomej galaktyki. Wydłużanie się fali, czyli przesunięcie mierzonej barwy światła ku czerwieni, pozwala dokładnie mierzyć prędkość ucieczki galaktyk.

Choć to przesunięcie jest bardzo małe, możemy je precyzyjnie mierzyć, ponieważ razem z całym widmem przesuwają się linie widmowe pierwiastków (patrz rys.).



▲ Widma uzyskane z: bardzo odległej galaktyki (A), odległej galaktyki (B), bliskiej galaktyki (C) i laboratorium na Ziemi (D)

Czy Droga Mleczna jest wyjątkowa

Czy możemy w takim razie stwierdzić, że znajdujemy się w wyjątkowej galaktyce, od której uciekają wszystkie inne? Aby odpowiedzieć na to pytanie, wykonajmy doświadczenie modelowe.

Doświadczenie 24.

Uciekające galaktyki

1. Na powierzchni balonika zaznacz pisakiem kilka kropek. Będą one symbolizować galaktyki.
2. Nadmuchuj balon i obserwuj, jak zmieniają się odległości między kropkami-galaktykami.
3. Czy widzisz jakąś wyróżnioną galaktykę, od której uciekają wszystkie inne, czy może odległości między wszystkimi kropkami na balonie zmieniają się w podobny sposób?



Te obserwacje pomagają zrozumieć, dlaczego galaktyki oddalają się od siebie tym szybciej, im większa dzieli je odległość. Wynika to z rozszerzania się całego Wszechświata. Jeśli w odległej galaktyce żyją istoty rozumne, to ze swojej perspektywy mogą obserwować ucieczkę galaktyk tak samo jak my.

Wielki Wybuch

Skoro Wszechświat się rozszerza, to znaczy, że kiedyś musiał być znacznie mniejszy. Można nawet przypuszczać, że na samym początku był skupiony w jednym punkcie. Taką hipotezę postawił w latach trzydziestych XX w. Georges Lemaître (czyt. żorż lem**e**tr). Ten belgijski astronom podał nie tylko ogólny pomysł, lecz także sformułował matematyczną teorię ewolucji Wszechświata, nazwaną teorią Wielkiego Wybuchu.

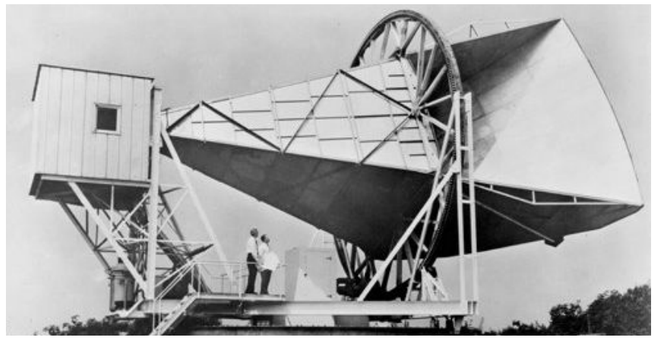
Nazwę *Big Bang* (dosłownie „wielkie bum") wymyślili przeciwnicy tej koncepcji, aby ją wyśmiać, jednak przyjęła się ona w nauce jako oficjalna nazwa teorii.

Potwierdzenie teorii Wielkiego Wybuchu

Z teorii Lemaître'a wynikało, że Wszechświat powinno do dziś wypełniać promieniowanie mikrofalowe, zwane promieniowaniem tła, powstałe ok. 380 000 lat po Wielkim Wybuchu.

Odkryli je w latach 60. XX w. dwaj młodzi naukowcy. Prowadzili oni radiowe obserwacje astronomiczne za pomocą anteny, zbudowanej pierwotnie w celu utrzymywania łączności za pomocą sztucznych satelitów (patrz zdjęcie). Jednak badania utrudniał im radiowy szum. Dopiero gdy badacze dowiedzieli się przypadkiem, że taki szum jest już od ponad roku bezskutecznie poszukiwany przez kosmologów, zrozumieli jego istotę.

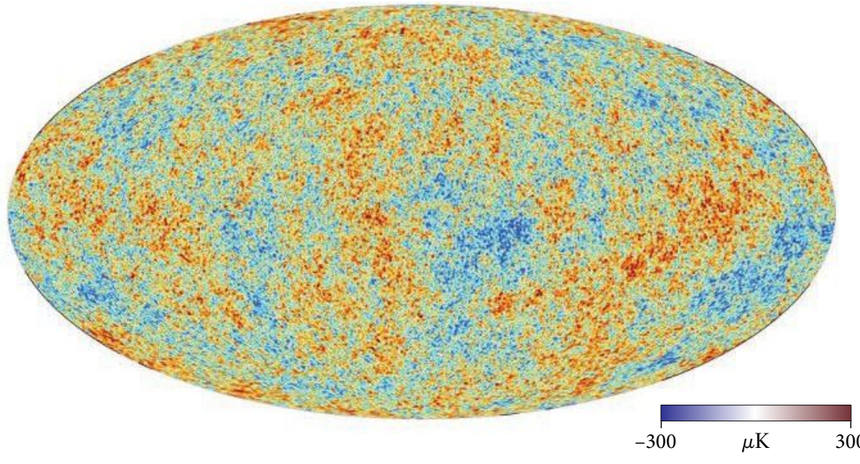
To odkrycie stanowiło potwierdzenie teorii Wielkiego Wybuchu, początkowo sceptycznie przyjmowanej przez uczonych.



◀ Antena, za pomocą której Arno Penzias i Robert Wilson odkryli mikrofalowe promieniowanie tła

Promieniowanie z początku Wszechświata

Na zdjęciu widzimy cały Wszechświat, a dokładniej – promieniowanie tła zarejestrowane przez kosmiczny teleskop Plancka. Odpowiada ono promieniowaniu cieplnemu ciała o temperaturze zaledwie o 2,7°C wyższej od zera bezwzględnego. Barwy oznaczają obszary nieznacznie chłodniejsze oraz cieplejsze, z których z czasem powstały gromady galaktyk i kosmiczne pustki.

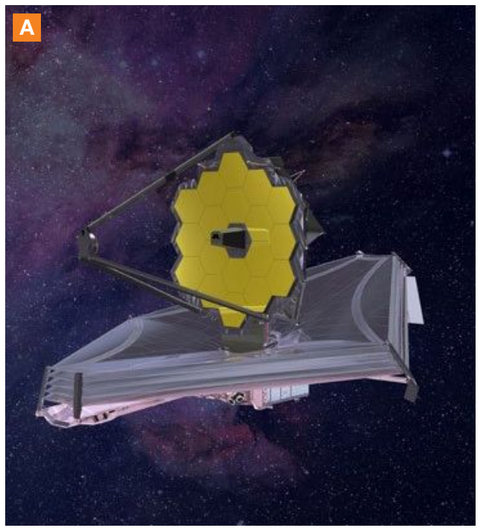


Kosmiczny wehikuł czasu

Historię Wszechświata możemy obserwować na własne oczy. Dzięki temu, że światło biegnie przez kosmos ze skończoną prędkością 300 000 $\frac{km}{s}$, dalekie obiekty obserwujemy takimi, jakimi były dawniej.
Jeśli patrzymy na galaktykę odległą od nas o 10 mld lat świetlnych, to nie widzimy, jak wygląda obecnie, ale dowiadujemy się, jak wyglądała 10 mld lat temu.

> Światło biegnące od najdalszych galaktyk, dostrzegalnych tylko przez największe teleskopy, biegło do nas ponad 13,5 mld lat, dzięki czemu wiemy, jak wyglądały te skupiska gwiazd i planet w chwili, gdy młody kosmos liczył sobie kilkaset milionów lat.

Obserwacja bliższych obiektów pozwala nam poznać jego późniejsze losy. Możemy zatem prześledzić dziecięce, młodzieńcze i współczesne, dojrzałe już oblicze Wszechświata. Historię kosmosu ukazuje infografika na s. 318–319.

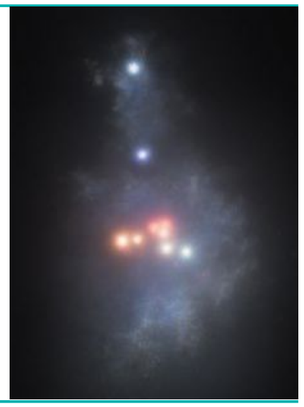




▲ Teleskop Jamesa Webba obserwuje najdalsze galaktyki A. Radioteleskopy umożliwiają badanie odległych zakątków Wszechświata B

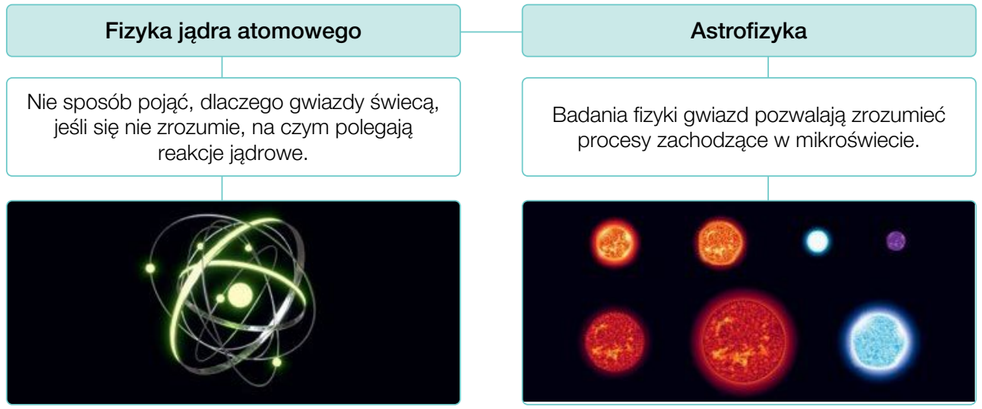
A to ciekawe

Skoro obserwacje najdalszych zakątków kosmosu pozwalają nam zajrzeć w przeszłość, możemy spróbować wyobrazić sobie, jak wyglądała młodziutka Droga Mleczna.
Prawdopodobnie przypominała Firefly Sparkle – galaktykę odkrytą przez Teleskop Webba, która wygląda niczym iskra lub rój świetlików w ciepłą, letnią noc. Widzimy ją taką, jaka była, gdy Wszechświat liczył zaledwie 600 milionów lat.
Firefly Sparkle miała wtedy masę ok. 10 000 razy mniejszą od obecnej masy Drogi Mlecznej, lecz zapewne z czasem rosła, pochłaniając mniejsze sąsiadki. Dziś może być już duża i jasna, jak nasza własna Galaktyka.



Od jąder atomowych do gwiazd i galaktyk

Być może zastanawiało cię, dlaczego w tym rozdziale skojarzyliśmy dwa odległe działy fizyki: fizykę obiektów **bardzo małych**, czyli fizykę jądra atomowego, i **bardzo dużych**, czyli astrofizykę.
Teraz już wiesz, że te dziedziny ściśle się ze sobą łączą:



Koniec książki, ale nie koniec fizyki

Kosmos wciąż kryje przed nami wiele tajemnic. Nadal na przykład nie mamy pojęcia, jak wygląda materia wewnątrz gwiazd neutronowych ani co (i czy w ogóle coś) kryją w sobie czarne dziury. Nie wiemy także, dlaczego Wszechświat rozszerza się coraz szybciej. Jak widać, nauka nie zbadała jeszcze wielu problemów. Może niektóre z nich rozwiążesz właśnie ty?
Ale jeśli nawet nie będziesz zawodowo zajmować się fizyką ani astronomią, mamy nadzieję, że dzięki wiedzy z tych dziedzin lepiej zrozumiesz otaczający cię świat.

> Przyda ci się też wiedza o tym, jak naukowcy poznają świat, ponieważ podobnych metod dochodzenia do prawdy można używać w najróżniejszych codziennych sytuacjach.

To najważniejsze

- Galaktyki oddalają się od siebie nawzajem. Im dalsza galaktyka, tym szybciej się od nas oddala.
- Oddalanie się galaktyk jest skutkiem rozszerzania się Wszechświata.
- Rozszerzanie się Wszechświata rozpoczęło się ok. **14 mld lat** temu. Zapoczątkował je **Wielki Wybuch**. Chwilę później Wszechświat był niezwykle gęsty i gorący. Potem, w miarę jak się rozszerzał, stawał się coraz chłodniejszy.
- Nauka nie jest zamkniętym zbiorem znanych prawd. Nadal bardzo wielu rzeczy nie wiemy, a wyjaśnienia niektórych zjawisk zmieniają się wtedy, gdy poznajemy nowe fakty. Ważne jest jednak, że odpowiedzi, których dostarcza nauka, są weryfikowane przez wiele niezależnych grup badaczy i są stale poddawane krytycznym próbom ich zmiany lub poprawienia.

EWOLUCJA WSZECHŚWIATA

0 sekund

WIELKI WYBUCH

Skoro Wszechświat się rozszerza, to kiedyś musiał być znacznie mniejszy. Początek Wszechświata nazywamy Wielkim Wybuchem. Szacuje się, że miał on miejsce niemal 14 mld lat temu.

Ułamek sekundy po Wielkim Wybuchu Wszechświat był supergęsty, a jego temperatura wielokrotnie przekraczała miliard miliardów stopni Celsjusza.

380 000 lat

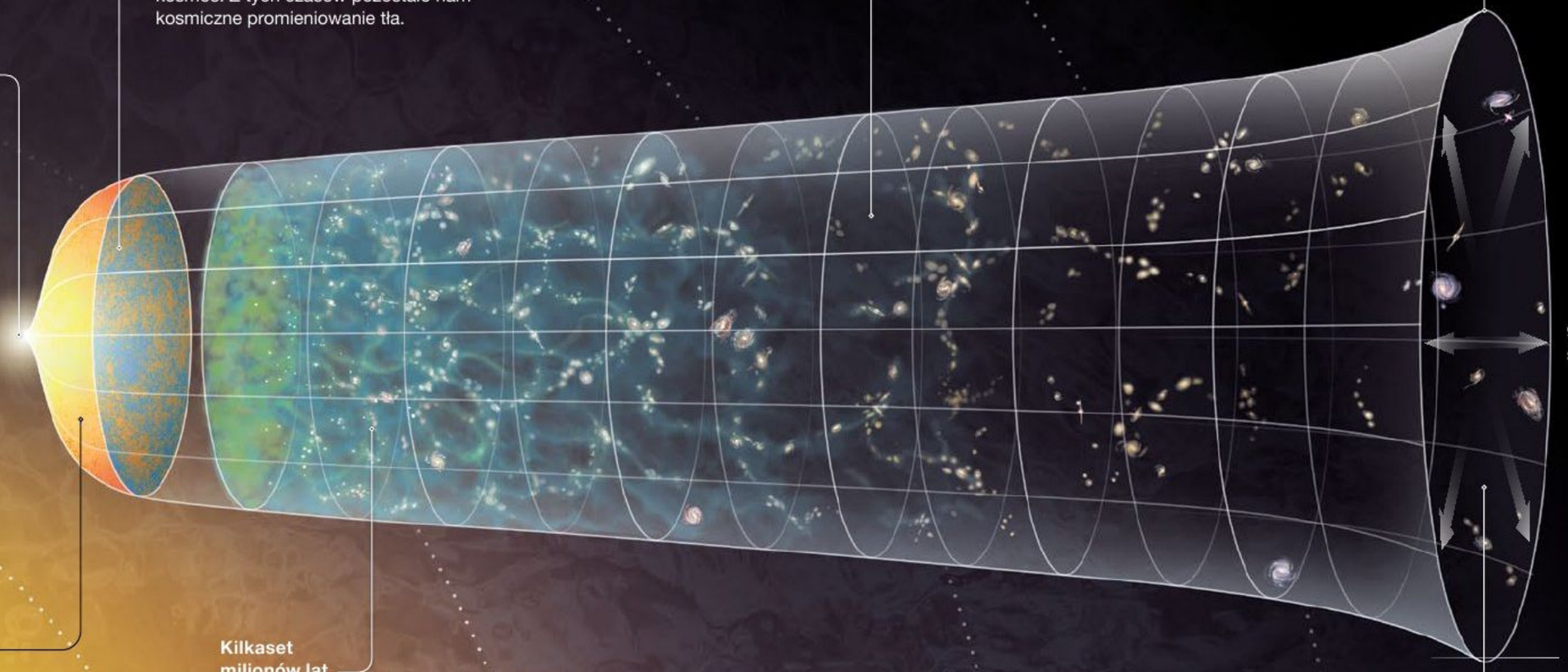
ATOMY I KOSMICZNE PROMIENIOWANIE TŁA

Wszechświat zrobił się już na tyle rzadki i chłodny, że elektrony mogły łączyć się z jądrami, tworząc atomy, a fotony zaczęły swobodnie przemierzać kosmos. Z tych czasów pozostało nam kosmiczne promieniowanie tła.

9 mld lat

Młode galaktyki były znacznie mniejsze od dzisiejszych. Zachodzące przez miliardy lat procesy ich zderzeń i łączenia doprowadziły do powstania współczesnego Wszechświata.

Dziś



92 mld lat świetlnych

0-3 minuty

JĄDRA PIERWSZYCH PIERWIASTKÓW

Rozszerzająca się materia szybko stygła i już po upływie jednej tysięcznej sekundy od Wielkiego Wybuchu pojawiły się warunki do przetrwania protonów i neutronów. Półtorej minuty później część z nich połączyła się ze sobą i utworzyła jądra helu oraz niewielkie ilości litu. Później temperatura spadła tak bardzo, że proces syntezy termojądrowej się zakończył.

Oznacza to, że stygnący Wszechświat wypełniały początkowo jądra tylko trzech pierwiastków: wodoru, helu i litu. Prawie wszystkie pierwiastki cięższe od litu powstawały później w gorących wnętrzach gwiazd lub podczas wybuchów supernowych.

Kilkaset milionów lat

PIERWSZE GWIAZDY I GALAKTYKI

Pierwsze gwiazdy i galaktyki powstały kilkaset milionów lat po Wielkim Wybuchu, gdy Wszechświat wystarczająco ostygł. Ówczesne gwiazdy składały się tylko z pierwiastków powstałych tuż po Wielkim Wybuchu, a ich masy były ponad stukrotnie większe niż masa Słońca. Szybko zakończyły życie w potężnych wybuchach supernowych. Rozsiały one po kosmosie cięższe pierwiastki, co umożliwiało powstanie planet podobnych do Ziemi.

PRZYSZŁOŚĆ WSZECHŚWIATA

Niemal do końca ubiegłego stulecia badacze zastanawiali się, czy Wszechświat będzie się rozszerzał w nieskończoność, czy może kiedyś jego ekspansja zwolni, zatrzyma się, a później rozpocznie się kurczenie.

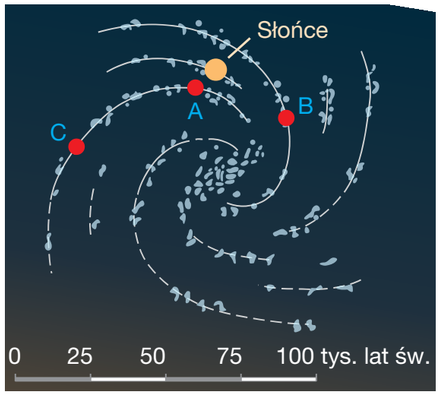
Dzisiaj na podstawie kilku niezależnych obserwacji uważamy, że nie tylko będzie się rozszerzać, ale wręcz robi i będzie to robić coraz szybciej.

Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Na rysunku przedstawiono schematycznie naszą Galaktykę widzianą z zewnątrz. Wyobraź sobie, że w tej chwili w pobliżu każdej z zaznaczonych gwiazd A–C znajdują się astronomowie wyposażeni w superteleskopy, które pozwalają im dostrzec nie tylko Ziemię, lecz także to, co się na niej dzieje. Dopasuj do każdego z astronomów wydarzenie, które mógłby obserwować.

I. Budowa piramidy Cheopsa (ok. 2600 r. p.n.e.).
II. Cofnięcie się lądolodu skandynawskiego (10 tys. lat temu).
III. Wyginięcie neandertalczyków (30 tys. lat temu).
IV. Pojawienie się homo sapiens w Europie (50 tys. lat temu).



2. Wyobraź sobie, że chcesz nakręcić film popularnonaukowy trwający 13,7 min, przedstawiający w proporcjonalnym skrócie historię Wszechświata. W którym momencie filmu umieściłbyś pojawienie promieniowania tła? Kiedy w twoim filmie pojawiliby się ludzie?

3. Dawniej astronomowie sądzili, że rozszerzanie się Wszechświata zachodzi coraz wolniej. Jaką siłę mogli podejrzewać o hamowanie oddalających się od siebie galaktyk?

4. W 1922 r. amerykański poeta Robert Frost napisał wiersz, w którym rozważa, czy świat skończy się w ogniu czy w lodzie. Do jego wiersza chętnie nawiązywali astronomowie, gdy na popularnych wykładach podejmowali się próby odpowiedzi na nierozstrzygnięte wtedy pytanie: czy Wszechświat zawsze będzie się rozszerzał, czy też kiedyś zacznie się kurczyć?

Jaki jest związek między wierszem a pytaniem z astronomii? Jaką odpowiedź uznajemy dzisiaj za prawdziwą?

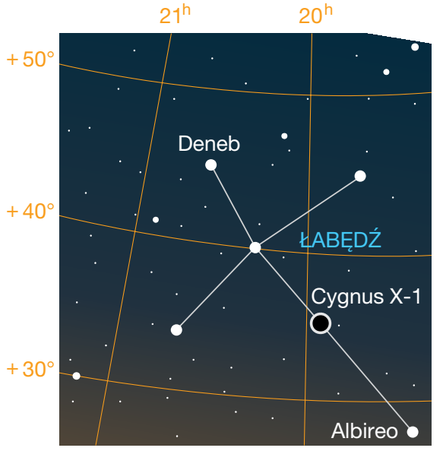
Obserwacje

Gdzie jest czarna dziura

Uwaga. Nie obiecujemy, że ją zobaczysz, ponieważ czarnych dziur po prostu nie widać. Możesz jednak znaleźć na niebie miejsce, gdzie taki obiekt się znajduje.

1. Znajdź na niebie gwiazdozbiór Łabędzia (w Polsce jest to możliwe od wiosny do jesieni). Jest on pokazany na rysunku obok.

2. Znajdź na rysunku miejsce w połowie szyi łabędzia, oznaczone białym kółkiem. Czarna dziura znajduje się w tym miejscu.



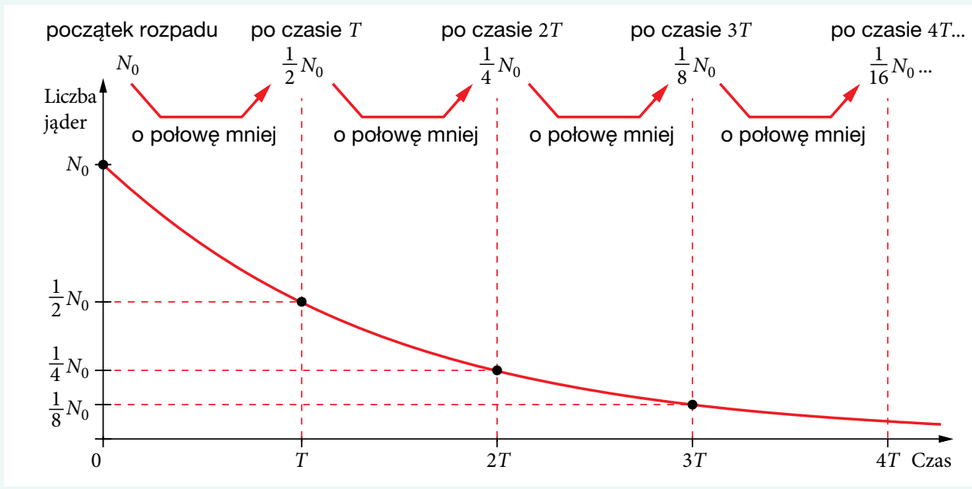
POWTÓRZENIE Reakcje jądrowe: na Ziemi i w kosmosie

- Niekiedy jądra atomowe nie są stabilne i ulegają **przemianom jądrowym**, którym towarzyszy emisja promieniowania.

We wszystkich przemianach jądrowych są spełnione zasady:

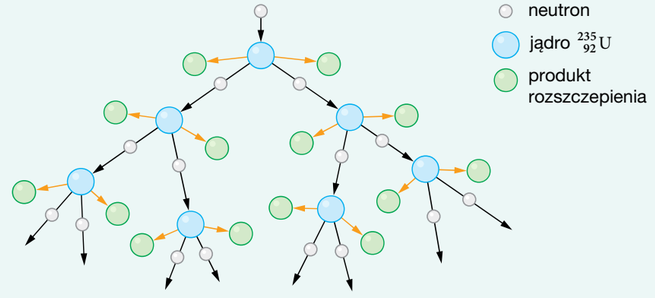
Zasada zachowania liczby nukleonów	Zasada zachowania ładunku
Łączna liczba nukleonów przed przemianą i po niej jest jednakowa.	Suma ładunków elektrycznych wszystkich cząstek przed przemianą i po niej jest jednakowa.

- Jądra niektórych izotopów ulegają **spontanicznemu rozpadowi**. Dla każdego izotopu można określić **czas połowicznego rozpadu** T, w ciągu którego rozpadnie się połowa jego jąder.
  - Liczbę jąder, które do danej chwili nie uległy rozpadowi, przedstawia wykres.

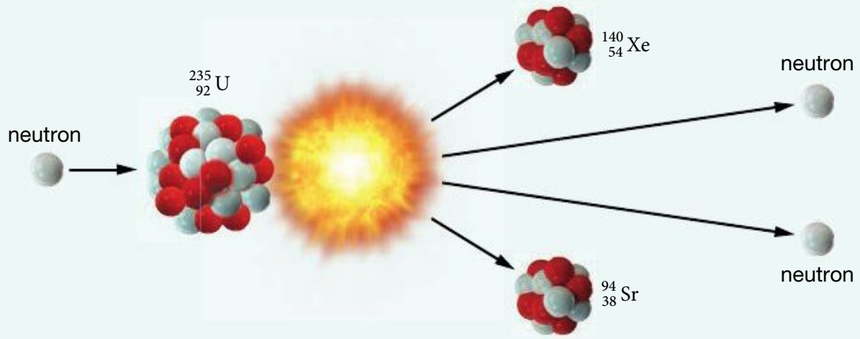


  - Znajomość czasu połowicznego rozpadu wykorzystujemy m.in. do określania wieku skał i zabytków.

- Jeśli neutron uderzy w jądro ciężkiego pierwiastka, np. uranu, może spowodować **reakcję rozszczepienia**. Wydziela się wtedy energia i są wysyłane nowe neutrony rozbijające kolejne jądra uranu. Reakcję tę nazywamy **reakcją łańcuchową**.



- Bomba jądrowa i elektrownia jądrowa wytwarzają energię dzięki rozszczepianiu jąder ciężkich pierwiastków, np. uranu. W reaktorze elektrowni proces ten przebiega powoli i w sposób kontrolowany.
- Reakcja rozszczepienia



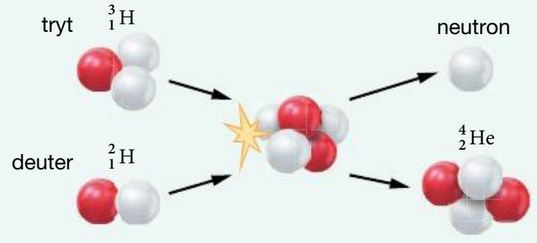
F ■ Energetyka jądrowa

Na diagramie podsumowujemy zalety i wady elektrowni jądrowej.

Energetyka jądrowa

Zalety	Wady
Bardzo duża wydajność paliwa	Kosztowna budowa
Brak emisji CO_2 w czasie pracy (i niewielka przy budowie)	Wysokie koszty utylizacji odpadów
Tania w utrzymaniu	Zagrożenie awarią, terroryzmem, działaniami wojennymi
Stabilna (produkuje energię niezależnie od pogody)	
Paliwa wystarczy na 100 lat	

■ **Synteza jądrowa** to uzyskiwanie energii w procesie łączenia lekkich jąder atomowych. Przykładowo w bardzo wysokiej temperaturze i pod dużym ciśnieniem jądra wodoru łączą się w reakcji syntezy i tworzą jądra helu.



■ Gdy ciało traci pewną energię, zmniejsza się jego masa, a gdy ją zyskuje – masa się zwiększa. Związek między energią i masą to:

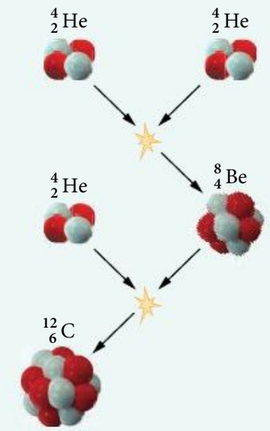
$$E = mc^2$$

gdzie c – prędkość światła, $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

■ **Deficyt masy** to różnica między masą jądra atomowego a masą jego poszczególnych składników.

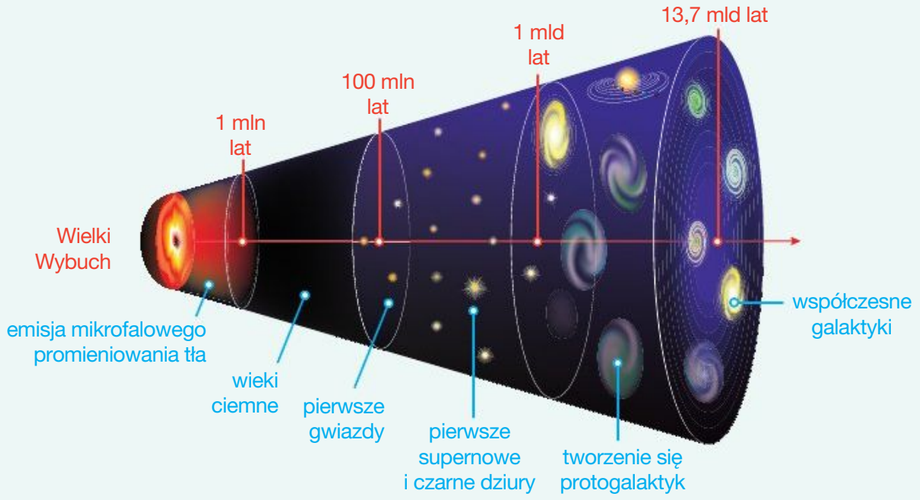
- Energię odpowiadającą deficytowi masy, obliczoną ze wzoru $E = mc^2$, nazywamy **energią wiązania jądra**. Energię wyzwoloną podczas reakcji jądrowych obliczamy przez porównanie mas substancji przed reakcją i po niej.

■ Liczące dziś ok. **4,5 mld lat Słońce** świeci dzięki zachodzącym w jego wnętrzu reakcjom termojądrowym łączenia (syntezy) jąder wodoru w jądra helu. Za ok. **7 mld lat** głównym źródłem energii Słońca zostanie reakcja przemiany helu w węgiel (patrz schemat obok). Kiedy ta przemiana się zakończy, Słońce przestanie produkować energię i ostygnie.



■ **Wszechświat** nieustannie się rozszerza. Oznacza to, że galaktyki oddalają się od siebie. Im dalej od siebie znajdują się dwie galaktyki, tym szybciej się od siebie oddalają.

- Rozszerzanie się Wszechświata rozpoczęło się ok. **14 mld lat temu**. Zapoczątkował je Wielki Wybuch.
- Tuż po nim Wszechświat był niezwykle gęsty i gorący.
- W miarę jak Wszechświat się rozszerzał, stawał się coraz chłodniejszy. Powstał wodór oraz pewna ilość helu i litu.
- Pierwiastki cięższe od litu utworzyły się we wnętrzach gwiazd w procesach syntezy termojądrowej, a także podczas wybuchów supernowych.



ZADANIA POWTÓRZENIOWE To musisz umieć

1. Czy można zamienić atom jednego pierwiastka w atom innego pierwiastka?

A. Nie.

B. Tak, na tym polegają przemiany chemiczne.

C. Tak, na tym polegają przemiany jądrowe.

D. Tak, ale zdarza się to tylko przy wybuchu supernowej.

2. Energia reakcji termojądrowych:

A. to rodzaj energii chemicznej.

B. nie podlega zasadzie zachowania energii – bierze się ona z niczego.

C. pochodzi z przekształcenia w nią części masy reagujących jąder.

D. jest wykorzystywana w dzisiejszych elektrowniach jądrowych.

3. Jeżeli mamy cztery jądra pierwiastka, którego okres połowicznego rozpadu wynosi 10 s, to ostatnie z tych jąder rozpadnie się po:

A. 10 s.

B. 20 s.

C. 30 s.

D. nieokreślonym czasie.

4. W elektrowni jądrowej energia powstaje na skutek:

A. rozszczepienia jąder uranu.

B. łączenia się jąder wodoru.

C. rozpadu jąder wodoru.

D. utleniania uranu.



5. Największym problemem związanym z elektrowniami termojądrowymi jest:

A. wytwarzanie przez nie dużej ilości odpadów promieniotwórczych.

B. wykorzystywanie trudno dostępnego paliwa.

C. zagrożenie wybuchem.

D. skomplikowana technologia ich budowy.

6. Słońce świeci dzięki:

A. chemicznej reakcji spalania wodoru.

B. przemianie termojądrowej wodoru w hel.

C. rozszczepieniu jąder uranu.

D. przemianie jądrowej helu w uran.

7. Wszechświat:

A. zaczął się od Wielkiego Wybuchu i stale się rozszerza.

B. kurczy się.

C. ani się nie rozszerza, ani nie kurczy.

D. istnieje od zawsze.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To należy umieć

1. Zapisz równanie reakcji rozpadu beta izotopu tlenu $^{19}_{8}O$.

2. Rozpad alfa neodymu o liczbie masowej 144 można zapisać jako:

A. $^{144}_{58}Nd \rightarrow {}^{140}_{56}Ba + {}^{4}_{2}He$

B. $^{144}_{60}Nd \rightarrow {}^{140}_{58}Ce + {}^{4}_{2}He$

C. $^{144}_{60}Ne \rightarrow {}^{140}_{60}Ba + {}^{4}_{2}He$

D. $^{144}_{58}Nd + {}^{1}_{0}n + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{140}_{60}Ba$

3. Czas połowicznego rozpadu izotopu fosforu $^{32}_{15}P$ wynosi dwa tygodnie. Oznacza to, że po czterech tygodniach ze 100 g tego izotopu:

A. nic nie zostanie.

B. zostanie 50 g izotopu.

C. zostanie 25 g izotopu.

D. zostanie 10 g izotopu.

4. Wybierz określenie „znacznie większa niż”, „znacznie mniejsza niż”, „nieznacznie większa niż”, „nieznacznie mniejsza niż” lub „taka sama jak”. Zapisz całe powstałe w ten sposób zdanie w zeszycie.

a) Masa Słońca dzisiaj jest ////////// masa Słońca wczoraj.

b) Masa dwóch protonów i dwóch neutronów luzem jest ////////// masa jądra helu (złożonego z dwóch protonów i dwóch neutronów).

c) (F) Aby gwiazda mogła wybuchnąć jako supernowa, jej masa powinna być ////////// masa Słońca.

d) Masa uranu potrzebnego w elektrowni jądrowej do wytworzenia 1 GWh energii elektrycznej jest ////////// masa węgla potrzebna do tego celu w elektrowni węglowej.

e) Energia bomby wodorowej jest ////////// energia bomby atomowej.

f) (F) Jeśli masa gwiazdy jest ////////// masa Słońca, to nigdy nie zostanie ona czerwonym olbrzymem.

5. W czasie reakcji jądrowej masa substancji zmniejszyła się o $2 \cdot 10^{-9}$ g. Jaka ilość energii wyzwoliła się w tej reakcji?

6. (F) Niedługo po tym, gdy w słonecznym jądrze skończy się zapas wodoru:

A. Słońce zgaśnie.

B. w Słońcu rozpocznie się przemiana helu w węgiel.

C. Słońce wybuchnie jako supernowa.

D. hel znajdujący się w Słońcu zacznie rozpadać się na wodór.

7. (F) Czy Słońce zmieni się kiedyś w czarną dziurę?

A. Tak.

B. Nie, ponieważ ma zbyt dużą masę.

C. Nie, ponieważ ma zbyt małą masę.

D. Nie, ponieważ jest zbyt jasne.

ZADANIA POWTÓRZENIOWE To warto umieć

1. Z izotopu azotu $^{16}_{7}N$ w wyniku przemiany jądrowej powstaje tlen $^{16}_{8}O$. Jest to przykład:

A. przemiany alfa.

B. przemiany beta.

C. reakcji syntezy.

D. reakcji rozszczepienia.

2. Z próbki pewnego izotopu po minucie pozostała tylko $\frac{1}{64}$ jego początkowej masy. Jaki jest czas połowicznego rozpadu tego izotopu?

3. Oblicz energię, jaka wyzwoli się w czasie reakcji rozpadu jednego jądra radu przebiegającej zgodnie z równaniem:

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$$

Czy jest to rozpad alfa czy beta?

4. Po jakim czasie z początkowej liczby jąder radonu $^{222}_{86}Rn$ pozostanie tylko 40%?

5. Zawartość węgla $^{14}_{6}C$ w drewnianych przedmiotach znalezionych w 2000 r. przez archeologów stanowi 85% jego zawartości w żywych drzewach. Z którego wieku pochodzą te przedmioty?

6. Podane w ramce pierwiastki podziel na 3 grupy:

a) pierwiastki, z których można czerpać energię poprzez rozpad promieniotwórczy lub rozszczepienie,

b) pierwiastki, z których można czerpać energię poprzez reakcję syntezy termojądrowej,

c) pierwiastki, które nie dostarczają energii w przemianach jądrowych.

hel • azot • żelazo • pluton • rad

ZADANIA POWTÓRZENIOWE Dasz sobie z tym radę? Świetnie!

1. (F) Przyrównajmy czasy i etapy życia Słońca do życia człowieka, który umiera w wieku 80 lat. Jako moment śmierci przyjmijmy chwilę, gdy Słońce wytworzy mgławicę planetarną. Określ, na jakim etapie „ludzkiego życia" Słońce znajduje się obecnie? W jakim „wieku" zacznie spalać hel w jądrze?

2. Napisz reakcję rozpadu radonu $^{222}_{86}Rn$ z emisją cząstki alfa. Ile energii wydzieli się w czasie rozpadu 1 g tej substancji?

3. (F) Gdy Słońce zostanie białym karłem, zmniejszy się mniej więcej do rozmiarów Ziemi. Ile wynosiłby promień Ziemi, gdyby skurczyła się w tej samej proporcji co Słońce?

4. Oceń prawdziwość zdań. Zdania fałszywe popraw tak, aby stały się prawdziwe.

a) Gdy podgrzejemy kawałek miedzi, jego masa minimalnie zmaleje.

b) Jeśli elektron spotka się z antyprotonem, to oba ulegną anihilacji.

c) W jednym z badań medycznych w ciele pacjenta celowo wytwarza się antymaterię.

5. Przeczytaj fraszkę. Do jakich faktów z astrofizyki nawiązał jej autor?

Na próżnego
Skoroś nadął się pychą, jako okazujesz,
Czemuż Słońca losem głowy nie frasujesz,
Co się nadmie, nie szczędząc Wenery
ni Ziemi,
Lecz się rychło w gnoma z tytana przemieni?

Analiza tekstu

Tlen odkryty w najdalszej znanej galaktyce

Dwa niezależne zespoły astronomów wykryły tlen w najodleglejszej znanej galaktyce, JADES-GS-z14-0. To odkrycie, możliwe dzięki sieci teleskopów Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), współprowadzonej przez Europejskie Obserwatorium Południowe (ESO), zostało ogłoszone w dwóch odrębnych pracach. Skłoniło ono astronomów do namysłu nad tempem powstawania galaktyk w młodym Wszechświecie.

Galaktyka JADES-GS-z14-0 została odkryta w zeszłym [2024 – dop. red.] roku i jest najdalszą znaną galaktyką. Jest położona tak daleko, że wysyłane przez nią światło potrzebowało 13,4 mld lat, aby do nas dotrzeć. To znaczy, że widzimy ją taką, jaka była wtedy, gdy Wszechświat miał mniej niż 300 mln lat, co stanowi około 2% jego obecnego wieku. Odkrycie tlenu przez ALMA, sieć teleskopów na pustyni Atakama w Chile, sugeruje, że galaktyka jest chemicznie bardziej dojrzała, niż się spodziewaliśmy.

„To jakby znaleźć nastolatka tam, gdzie spodziewaliśmy się tylko niemowląt" – mówi Sander Schouws, doktorant w Obserwatorium w Lejdzie i główny autor holenderskiej pracy, przyjętej właśnie do publikacji w „The Astrophysical Journal". – „Wyniki wskazują, że galaktyka formowała się bardzo szybko i bardzo szybko dojrzewała, co stanowi kolejny dowód na to, że galaktyki powstają znacznie szybciej, niż się spodziewaliśmy".

Swoje życie galaktyki zaczynają zwykle pełne młodych gwiazd, zbudowanych z lekkich pierwiastków, takich jak wodór i hel. W miarę jak gwiazdy ewoluują, wytwarzają cięższe pierwiastki, np. tlen, które po ich śmierci rozprzestrzeniają się po galaktyce. Badacze sądzili, że gdy Wszechświat miał 300 mln lat, był zbyt młody, aby znalazły się w nim galaktyki zawierające ciężkie pierwiastki. Jednakże dwa badania przeprowadzone za pomocą ALMA wskazują, że JADES-GS-z14-0 zawiera około 10 razy więcej ciężkich pierwiastków, niż się spodziewano.

„Byłem zaskoczony tymi niespodziewanymi wynikami, ponieważ pozwoliły one inaczej spojrzeć na początek ewolucji galaktyk" – mówi Stefano Carniani ze Scuola Normale Superiore [prestiżowej włoskiej uczelni – przyp. red.] w Pizie, główny autor pracy przyjętej do publikacji w czasopiśmie „Astronomy & Astrophysics". – „Dowód, że galaktyka w młodym Wszechświecie jest już dojrzała, rodzi pytania o to, kiedy i jak powstawały galaktyki".



Wykrycie tlenu pozwoliło astronomom na dokładniejsze wyznaczenie odległości do JADES-GS-z14-0. „Obserwacje z ALMA pozwalają na niewiarygodnie dokładne pomiary odległości do tej galaktyki: z niepewnością zaledwie 0,005%. Taka precyzja, analogiczna do zmierzenia odległości 1 km z dokładnością do 5 cm, pozwala nam lepiej zrozumieć właściwości odległych galaktyk" – dodaje Eleonora Parlanti, doktorantka ze Scuola Normale Superiore i współautorka pracy w Astronomy & Astrophysics[1].

„Chociaż ta galaktyka została najpierw odkryta przez Teleskop Kosmiczny Jamesa Webba (JWST), to dopiero dzięki ALMA potwierdzono i z większą dokładnością zmierzono jej ogromną od nas odległość[2]" – mówi profesor Rychard



Bouwens z zespołu w Lejdzie. – „To pokazuje, jak wspaniale uzupełniają się ALMA i JWST przy badaniu powstawania i rozwoju pierwszych galaktyk".

Gergö Popping, astronom z Europejskiego Obserwatorium Południowego oraz Europejskiego Regionalnego Centrum ALMA, który nie brał udziału w badaniach, mówi: „Byłem zaskoczony tak jednoznacznym wykryciem tlenu w JADES-GS-z14-0. Sugeruje ono, że wkrótce po Wielkim Wybuchu galaktyki mogły się tworzyć znacznie szybciej, niż uważano dawniej. Ten wynik potwierdza kluczową rolę ALMA w odkrywaniu warunków, w jakich powstawały pierwsze galaktyki w naszym Wszechświecie".

Artykuł ze strony Europejskiego Obserwatorium Południowego, tłum. M. Braun, W. Śliwa, https://www.eso.org/public/news/eso2507/

[1] Aby wyznaczyć odległość do najodleglejszych obiektów, astronomowie używają metody zwanej przesunięciem ku czerwieni. Wcześniejsze pomiary wskazywały, że Galaktyka JADES-GS-z-14-0 ma przesunięcie ku czerwieni między 14,12 a 14,4. Dzięki pomiarom tlenu oba zespoły zawęziły ten przedział do około 14,18.

[2] Teleskop Kosmiczny Jamesa Webba (The James Webb Space Telescope, JWST) to wspólny projekt NASA, Europejskiej Agencji Kosmicznej i Kanadyjskiej Agencji Kosmicznej.

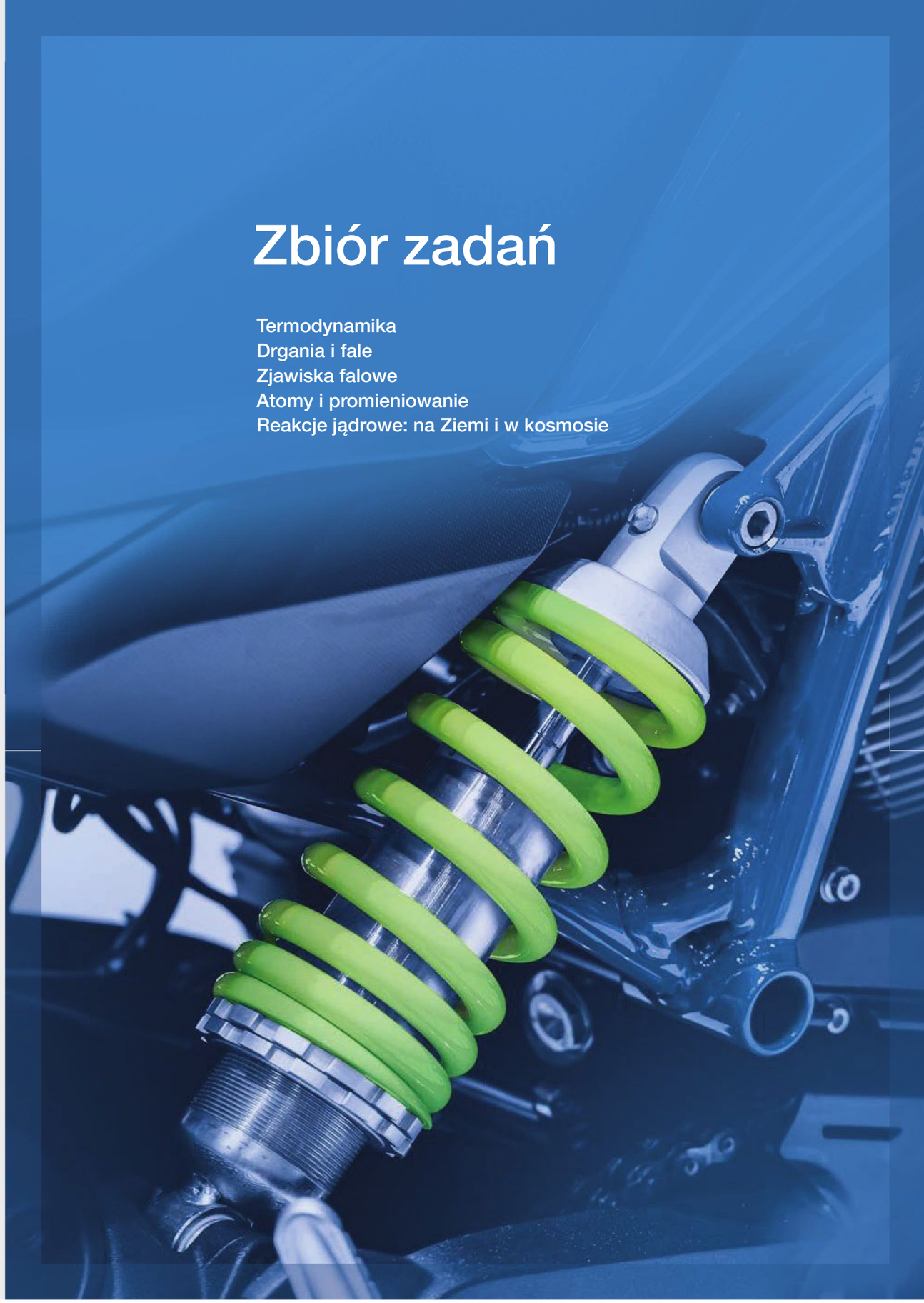
Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Znajdź na infografice na s. 310–311 informacje o tym, kiedy w gwiazdach powstaje tlen.
2. Dlaczego obecność tlenu w najdalszej galaktyce była takim zaskoczeniem dla astronomów?
3. Wróć do rozdziału „Atomy i promieniowanie" i przypomnij sobie, na jakiej podstawie astronomowie mogą stwierdzić, że w odległej galaktyce znajduje się określony pierwiastek.
4. W artykule podkreślono, że opisanego odkrycia dokonały dwa niezależne zespoły astronomów. Dlaczego jest to tak ważne?
5. Dlaczego europejscy astronomowie potrzebują obserwatorium na półkuli południowej?
6. Najbliższa duża galaktyka (Galaktyka Andromedy) znajduje się 2,5 mln lat świetlnych od nas. Oblicz, ile razy dalej znajduje się najdalsza znana galaktyka.

Zbiór zadań

Termodynamika
Drgania i fale
Zjawiska falowe
Atomy i promieniowanie
Reakcje jądrowe: na Ziemi i w kosmosie



Dział 7. Termodynamika

Lekcja 1.

1. Dobierz do zjawisk A–D ich wyjaśnienia I–III. Jedno z wyjaśnień pasuje do dwóch zjawisk.

A. Wodę bardzo trudno sprężyć w strzykawce, a powietrze – znacznie łatwiej.

B. Woda przybiera kształt naczynia, a kostka lodu zachowuje swój kształt.

C. Aby podgrzać wodę, trzeba jej dostarczyć energii.

D. Z 1 litra wody powstaje ponad 1700 litrów pary wodnej.

I. Odległości między cząsteczkami są znacznie większe w gazie niż w cieczy.

II. W wyższej temperaturze cząsteczki poruszają się szybciej, więc mają większą energię kinetyczną.

III. W ciele stałym cząsteczki drgają wokół położeń równowagi, a w cieczy poruszają się po całym naczyniu.

2. Na którym zdjęciu cząsteczki powietrza poruszają się szybciej?

A.



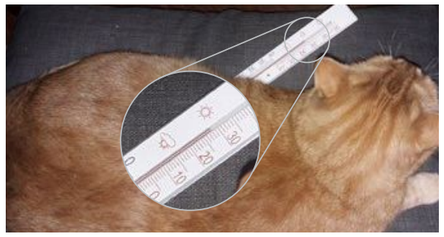
B.



3. W domu pana Teofila obluzowała się listwa progowa. Aby poprawić mocowanie, Teofil wyciągnął listwę wraz ze śrubą mocującą, włożył do otworu w podłodze kilka zapałek, a następnie stanął na listwie ze śrubą i wepchnął ją z powrotem. W tym momencie spod listwy buchnął dym, a po domu rozszedł się zapach palonego fosforu. Wyjaśnij, dlaczego zapałki się zapaliły, skoro nie ocierały się o draskę.

Lekcja 2.

4. Według tablic biologicznych temperatura ciała kota wynosi 38°C. Jednak termometr na zdjęciu pokazuje znacznie niższą wartość. Dlaczego?



5. Przyjrzyj się zdjęciu. Śnieg stopniał na betonowych kostkach, ale pozostał na fragmentach pomalowanych na biało. Jaka może być przyczyna tego zjawiska?

Uwaga. My mamy dwie hipotezy, ale może jest ich więcej. Jak można by między nimi rozstrzygnąć?



6. Często można usłyszeć następujące zdanie: „W kosmosie jest próżnia, a temperatura wynosi tam ok. –270°C”. Czy to znaczy, że umieszczone w kosmosie ciało natychmiast zamarznie?

7. Czy przy ogrzewaniu podłogowym podłogę lepiej wykonywać z terakoty czy z drewna?

Wskazówka. Terakota znacznie lepiej przewodzi ciepło.

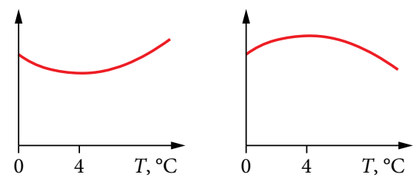
Lekcja 3.

8. Uczniowie zorganizowali dyskotekę w sali gimnastycznej. Aby udekorować pomieszczenie, powiesili wysoko na drabinkach bardzo mocno nadmuchane baloniki. W czasie imprezy baloniki zaczęły po kolei pękać. Dlaczego?

9. Dlaczego gdy gramy na gitarze przy ognisku, instrument szybko się rozstraja?

10. Który z wykresów przedstawia zależność objętości danej masy wody od temperatury, a który – zależność gęstości wody od temperatury?

a) **b)**



★**11.** Gdy ogrzewamy stalową nakrętkę, jej średnica zewnętrzna się zwiększa. A jak zmienia się jej średnica wewnętrzna?

12. Znajdź informacje o tym, jak działa bimetal i do czego się go stosuje. Zapisz w kilku zdaniach i przedstaw na ilustracji, czego się dowiedziałeś. Podaj, z jakich źródeł korzystałeś.

Lekcja 4.

13. Oblicz, ile energii należy dostarczyć, aby podgrzać:

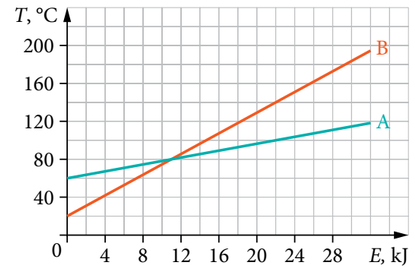
a) 2 litry wody od 20°C do 80°C,

b) 3 kg lodu od –10°C do –5°C.

14. Oblicz, o ile ogrzeje się 1 kg danej substancji kosztem 1 kJ energii, jeśli tą substancją jest:

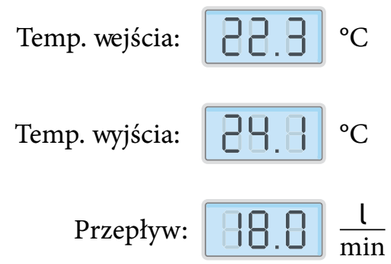
a) woda, **b)** mosiądz.

15. Dwie sztabki różnych metali A i B miały jednakową masę. Gdy dostarczano im energię, podgrzewały się w niejednakowy sposób. Wzrost ich temperatury przedstawiają wykresy narysowane w jednym układzie współrzędnych. Która ze sztabek miała większe ciepło właściwe? Ile razy większe?



Lekcja 5.

16. Ilustracja przedstawia wyświetlacz elektrycznego kotła centralnego ogrzewania w domu jednorodzinnym.



a) Jaką moc w przedstawionej sytuacji pobiera ogrzewacz z sieci elektrycznej?

b) Ile kosztowałaby jego praca, gdyby pracował z taką mocą przez cały miesiąc? Przyjmij cenę 1,20 zł za 1 kWh.

17. Ile ciepła dostarczy czajnik o mocy 2400 W w czasie 2 minut?

18. Czajnik elektryczny o mocy 2000 W dostarczył do wody 48 000 J energii. Ile czasu to zajęło?

19. Do czajnika elektrycznego, którego tabliczkę znamionową przedstawiono na zdjęciu, wlaliśmy pół litra wody o temperaturze 15°C. Jak długo czajnik musi być włączony, aby woda się zagotowała?



Lekcja 6.

20. Gdy na skórę wylejemy trochę spirytusu (np. w celu dezynfekcji), czujemy zimno, mimo że płyn ma temperaturę pokojową. Dlaczego tak się dzieje?

21. Dlaczego czujemy się gorzej, gdy powietrze jest gorące i wilgotne, niż gdy w tej samej temperaturze jest suche?

22. Kiedy gotujemy ziemniaki we wrzącej wodzie, zmniejszamy płomień do minimalnej wielkości, przy której wrzenie nie ustanie. Wyjaśnij, dlaczego większy płomień w czasie wrzenia wody nie spowoduje szybszego ugotowania ziemniaków.

23. Ogrzewamy wodę w garnku bez pokrywki. Czy dłużej trwa podgrzanie od 20°C do 30°C, czy od 80°C do 90°C?

24. Na opakowaniu makaronu sprzedawanego w Ekwadorze podano: „Gotować w górach od 12 do 14 minut, a na wybrzeżu od 10 do 12 minut".

Dlaczego czas gotowania makaronu zależy od regionu?

Wskazówka. Spójrz na mapę fizyczną Ekwadoru.

25. Dowiedz się, jak działa szybkowar. Wyjaśnij, dlaczego pozwala on zaoszczędzić energię. Zapisz, z jakich źródeł korzystasz.

Lekcja 7.

26. Ile energii potrzeba, aby stopić kostkę lodu o masie 20 g i temperaturze 0°C?

27. Wiele ekspresów do kawy pozwala uzyskiwać parę wodną, którą można spieniać mleko albo podgrzewać wodę. W szklance jest 200 g wody o temperaturze 20°C. Ile gramów pary wodnej o temperaturze 100°C należy wdmuchnąć do tej wody, aby ją podgrzać do temperatury 100°C?

★**28.** W ciągu lata dąb odparował 150 000 litrów wody.

a) Oblicz, ile ciepła pobrał z otoczenia w ten sposób.

b) Wyobraźmy sobie, że tę samą ilość ciepła chcemy usunąć z jakiegoś obszaru za pomocą klimatyzatora. Zużywa on energię elektryczną równą 25% usuniętego ciepła, a za 1 kWh energii elektrycznej płacimy 1,20 zł. Ile kosztowałaby energia potrzebna do zasilania klimatyzatora?

Lekcja 8.

Uwaga. Przyjmij cenę energii elektrycznej 1,20 zł/kWh.

29. Producent lodówki podaje, że jej moc wynosi 2,2 kW, a roczne zużycie energii to 180 kWh.

a) Wykonaj odpowiednie obliczenia i sprawdź, że urządzenie o mocy 2,2 kW pracujące przez cały rok zużyłoby ponad 100 razy więcej energii niż 180 kWh.

b) Wyjaśnij, skąd taka rozbieżność danych.

30. Ogrzewanie domu grzejnikiem elektrycznym w ciągu zimy kosztowało 14 000 zł. Po jakim czasie zwróci się zakup pompy ciepła za 40 000 zł, jeśli pozwala ona zaoszczędzić 75% energii?

31. Czy lodówka zużywa więcej czy mniej energii, jeśli trzymamy ją w małej spiżarni zamiast w dużej kuchni?

Lekcja 9.

32. Wyjaśnij, dlaczego żaden z podanych faktów nie stanowi argumentu ani za, ani przeciw istnieniu globalnego ocieplenia.

a) 6 stycznia 2023 r. w Białymstoku padał śnieg, a mróz był nawet w południe.

b) W Boże Narodzenie 2023 r. w Białymstoku padał deszcz, a temperatura była dodatnia.

33. Dowiedz się, dlaczego temperatura na Wenus wynosi ponad 400°C. Zapisz, z jakich źródeł informacji korzystasz.

34. Ile dodatkowej energii gromadzi Ziemia w czasie jednego roku? Wynik podaj w notacji wykładniczej.

Skorzystaj z danych na rysunku na s. 52

Lekcja 10.

35. Wyobraźmy sobie, że ludzie nagle przestali emitować gazy cieplarniane. Czy średnia temperatura Ziemi zatrzymałaby się na dzisiejszym poziomie, cofnęła się do poziomu z 1750 r., czy rosła nadal? Uzasadnij odpowiedź.

36. Polska emituje rocznie 290 mln ton CO_2, natomiast Indie 3,06 mld ton CO_2. Czy na przeciętnego mieszkańca Polski przypada większa czy mniejsza emisja niż na przeciętnego mieszkańca Indii? Ile razy mniejsza lub większa?

37. Na każdego mieszkańca naszego kraju przypada dziennie 7 kg spalonego węgla, 2 litry ropy naftowej i 1,5 m^3 gazu. Z ich spalania uzyskuje się energię ok. 65 kWh.

Szacunkowo można przyjąć, że 1 m^2 paneli fotowoltaicznych w Polsce może w ciągu roku dostarczyć 200 kWh energii.

a) Jaką powierzchnię musiałyby zająć panele, które wyprodukowałyby energię dla statystycznego Polaka?

b) Jaka byłaby powierzchnia paneli dla wszystkich mieszkańców Polski? Porównaj ją z powierzchnią naszego kraju.

38. Które zdania dotyczą smogu, a które efektu cieplarnianego?

a) Jest wywołany przez drobne cząstki stałe zawieszone nisko w atmosferze.
b) Jest przyczyną podnoszenia się poziomu morza.
c) Występuje tylko w bezpośrednim otoczeniu miejsca emisji zanieczyszczeń do atmosfery.
d) Zawsze się do niego przyczyniamy, gdy spalamy węgiel.
e) Jest wywołany obecnością niektórych gazów w atmosferze.
f) Ma działanie rakotwórcze.
g) To zjawisko przedstawiono na zdjęciu poniżej.



Dział 8. Drgania i fale

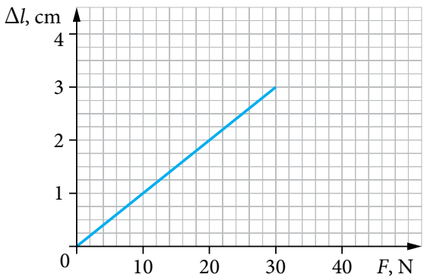
Lekcja 11.

1. Na sprężynie o długości 10 cm powieszono ciężarek o masie 20 g. Długość sprężyny zwiększyła się do 10,5 cm. Ile będzie wynosiła, jeśli oprócz opisanego ciężarka zawiesimy jeszcze drugi, o masie 100 g?

2. Wykres przedstawia zależność przyrostu długości sprężyny od działającej siły. Na jego podstawie oblicz:

a) wartość siły, która spowoduje rozciągnięcie sprężyny o 4 cm,

b) przyrost długości sprężyny spowodowany działaniem siły 32 N.



3. Tabela przedstawia zależność długości pewnej sprężyny od działającej na nią siły.

F, N	0	0,2	0,4	0,6	0,8
l, cm	4	5	6	7	8

Oblicz:

a) długość sprężyny, gdy działa na nią siła 0,65 N,

b) wartość siły, która rozciąga tę sprężynę do 4,2 cm.

Lekcja 12.

4. Niektóre gwiazdy okresowo zmieniają swoją jasność. Należy do nich jaśniejsza z dwóch obiegających się gwiazd tworzących układ znanej ci Gwiazdy Polarnej. Zmiany jej jasności są zbyt małe, aby dostrzec je gołym okiem, ale możemy je zaobserwować za pomocą odpowiednich przyrządów. Dowiedz się, jaki jest okres zmian jasności jaśniejszego składnika Gwiazdy Polarnej. Zapisz, z jakich źródeł korzystałeś.

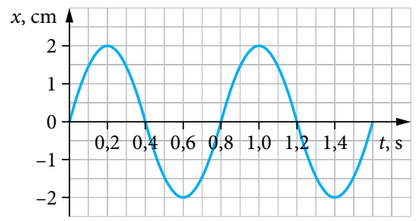
5. Wykres przedstawia ruch ciężarka na sprężynie (oś x jest skierowana w górę). Na podstawie wykresu odpowiedz na pytania:

a) W jakim punkcie znajdował się ciężarek w chwili $t = 0{,}1$ s?

b) Kiedy ciężarek po raz pierwszy osiągnął najniższe położenie?

c) W którą stronę (w górę czy w dół) poruszał się ciężarek w chwili $t = 0{,}3$ s?

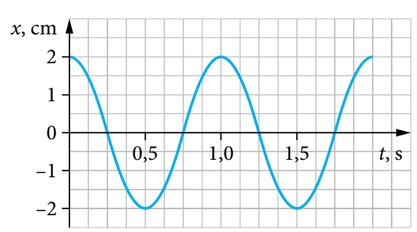
d) Gdzie znajdzie się ciężarek w chwili $t = 2$ s?



6. Na rysunku pokazano wykres zależności wychylenia drgającego ciężarka od czasu.

a) Odczytaj z wykresu amplitudę oraz okres drgań ciężarka.

b) Oblicz liczbę pełnych cykli drgań wykonywanych przez ciężarek w czasie 1 minuty.



7. Zmierz swój puls. Oblicz okres i częstotliwość bicia swojego serca.

Lekcja 13.

Uwaga. Przypomnijmy nasze założenie: amplituda drgań jest na tyle mała, że długość sprężyny podczas ruchu ciężarka nigdy nie jest mniejsza niż jej długość bez obciążenia.

Informacja do zadań 8.–9.

Na rysunku pokazano wykres zależności wychylenia ciężarka drgającego na sprężynie od czasu (oś x jest skierowana w górę).

8. Przyjrzyj się wykresowi, a następnie dla każdej z chwil równych 0,1 s, 0,3 s i 0,7 s określ następujące parametry ruchu ciężarka:

– kierunek ruchu (w dół/w górę),

– prędkość (rośnie/maleje)

– i siłę wypadkową (w dół/w górę/równa zeru).

Możesz je ująć w postaci tabeli.

9. W którym momencie: $t = 0{,}1$ s czy $t = 0{,}2$ s, siła sprężystości działająca na ciężarek miała większą wartość? Uzasadnij odpowiedź.

★**10.** Na sprężynie o długości 10 cm powieszono obciążnik o masie 50 g. Gdy wisiał on bez ruchu w położeniu równowagi, sprężyna miała 12 cm długości. Następnie obciążnik wprawiono w drgania o amplitudzie 1 cm. Oblicz maksymalną wartość siły wypadkowej działającej na obciążnik w czasie ruchu.

Lekcja 14.

★**11.** Aby rozciągnąć sprężynę, wykonano pracę 200 J. Jak zmieniła się energia potencjalna sprężystości tej sprężyny? Pomiń straty energii.

★**12.** Aby rozciągnąć sprężynę o 1 cm, wykonujemy pracę 10 J. Czy aby rozciągnąć tę samą sprężynę o 2 cm, musimy wykonać pracę mniejszą, równą czy większą niż 20 J? Uzasadnij odpowiedź.

13. Ciężarek wahadła sprężynowego porusza się w dół i znajduje się poniżej położenia równowagi. Czy jego energia kinetyczna rośnie czy maleje? A jak zmieniają się energia potencjalna sprężystości i energia potencjalna grawitacji?

14. Ponownie skorzystaj z wykresu do zadań 8.–9. Określ, jakie przemiany energii zachodzą w chwili:

a) $t = 0{,}1$ s

b) $t = 0{,}3$ s

c) $t = 0{,}5$ s

d) $t = 0{,}7$ s

Lekcja 15.

15. Wymień po dwa przykłady pożytecznego wykorzystania rezonansu oraz jego szkodliwego lub niebezpiecznego działania.

16. Gdy śpiewamy w pokoju, w którym znajduje się gitara, i nagle przerwiemy śpiew, możemy usłyszeć cichy dźwięk strun instrumentu, choć nikt na nim nie grał. Wyjaśnij to zjawisko.

17. Przeczytaj opowiadanie Agathy Christie *Twarz Heleny* ze zbioru *Tajemniczy pan Quin*. Zapisz w kilku zdaniach, który z bohaterów i w jaki sposób postanowił wykorzystać zjawisko rezonansu w celu morderstwa. Jaki był jego motyw? Czy jego plan się powiódł?

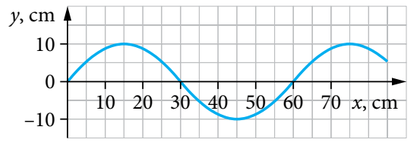
18. Samochód jedzie po drodze zbudowanej z płyt betonowych o długości 20 m. Częstotliwość drgań własnych jego zawieszenia wynosi 0,5 Hz. Przy jakiej prędkości pojazdu drgania wywołane przez przejazd po łączeniach płyt wprawią samochód w rezonans?

Lekcja 16.

19. W pewnej chwili łódka znalazła się na grzbiecie fali. Siedząca w niej osoba przestała wiosłować. Czy od tej chwili zacznie się poruszać wraz z grzbietem fali? Uzasadnij odpowiedź.

20. Które ze zmysłów działają dzięki rejestracji fal przez narządy w naszym organizmie? Jakie to fale?

21. Rysunek przedstawia wygląd fali na wodzie w pewnej chwili.



Które z wielkości można z niego odczytać lub obliczyć na jego podstawie: okres, częstotliwość, amplitudę, długość fali? Podaj te wielkości i wyjaśnij, dlaczego nie jest to możliwe w przypadku pozostałych.

Lekcja 17.

22. Fala na wodzie ma długość 6 m i okres drgań 2 s. Oblicz prędkość i częstotliwość tej fali.

23. W naczyniu z wodą powstała fala o długości 6 cm i prędkości 30 $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$.

a) Jaka jest jej częstotliwość?

b) W jakim czasie ta fala pokona długość 90 cm?

24. W powietrzu fale dźwiękowe rozchodzą się z prędkością 344 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, a w wodzie z prędkością 1480 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Ratownik na basenie użył gwizdka o częstotliwości dźwięku 2700 Hz. Oblicz, jaką długość ma wytworzona fala dźwiękowa w powietrzu, a jaką w wodzie.

25. Dwie zaprzyjaźnione rodziny jadą razem na wakacje samochodami. Kierowca drugiego samochodu stale utrzymuje taki dystans między pojazdami, aby jego przejechanie zajmowało 10 s. Czy odległość między samochodami się zmieni, gdy z autostrady zjadą one na boczną drogę? Co wspólnego ma to pytanie ze zmianą długości fali po przejściu do innego ośrodka?

Lekcja 18.

26. Fala dźwiękowa o długości 30 cm przechodzi z powietrza do wody. Oblicz jej:

a) częstotliwość w powietrzu,

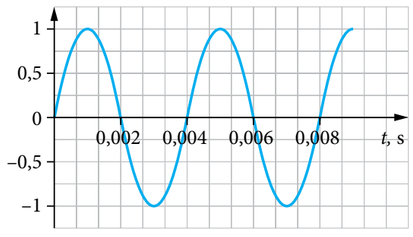
b) częstotliwość w wodzie,

c) długość w wodzie.

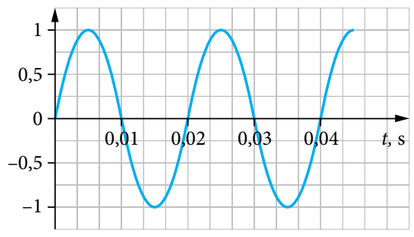
27. Zastanów się, który z owadów macha skrzydełkami więcej razy w ciągu sekundy: trzmiel czy komar. Uzasadnij swoją odpowiedź.

28. Oblicz częstotliwość fali dźwiękowej przedstawionej na wykresie oraz długość tej fali w powietrzu. Prędkość dźwięku w powietrzu wynosi 344 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

a)



b)



29. Oblicz maksymalną i minimalną długość słyszalnych dla człowieka fal dźwiękowych rozchodzących się w powietrzu.

30. Znajdź w internecie kilka filmów, w których słychać dźwięk klaksonu lub syren różnych pojazdów. Za pomocą programu Oscilloscope wyznacz częstotliwości tych dźwięków.

Lekcja 19.

31. Wybierz poprawne uzupełnienie i zapisz powstałe zdanie w zeszycie.

W fali elektromagnetycznej występowanie zmiennego pola elektrycznego jest *skutkiem*/ *przyczyną*/ *zarówno skutkiem, jak i przyczyną* występowania zmiennego pola magnetycznego.

32. Sprawdź doświadczalnie, że telefon komórkowy umieszczony pod grubą warstwą tkaniny odbiera fale radiowe (mikrofale), ale gdy owiniemy go dokładnie cienką warstwą folii aluminiowej, nie może się komunikować (jest poza zasięgiem). Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko.

33. Światło rozchodzi się znacznie szybciej od dźwięku. Dlaczego więc dźwięk i obraz docierające do nas z telewizora są zsynchronizowane?

34. Przeczytaj tekst w ramce. Wypisz wszystkie rodzaje fal elektromagnetycznych, z którymi miała do czynienia Diana w opisanej sytuacji.

> Diana usłyszała dźwięk budzika. Wstała z łóżka i zobaczyła, że słońce świeci już jasno. Na balkonie sąsiedniego bloku opalali się sąsiedzi.
> Diana podgrzała mleko w kuchence mikrofalowej i zjadła je z płatkami. Włączyła komputer, ale okazało się, że wi-fi nie działa, zadzwoniła więc do koleżanki, żeby się umówić na popołudnie. Niestety, koleżanka właśnie musiała się wybrać na prześwietlenie płuc.

35. W biologii mówimy o teorii ewolucji. Użycie słowa *teoria* oznacza w tym przypadku, że:

A. jest to najlepsze spójne wyjaśnienie wielu zjawisk obserwowanych w świecie przyrody,

B. jest to tylko przypuszczenie, które należy potwierdzić doświadczalnie,

C. prawda naukowa jest inna niż mówi teoria.

36. Prąd przemienny z domowej sieci elektrycznej powoduje powstawanie fali elektromagnetycznej. Podaj jej częstotliwość i oblicz długość. Porównaj tę długość z wielkościami znanymi z geografii.

Dział 9. Zjawiska falowe

Lekcja 20.

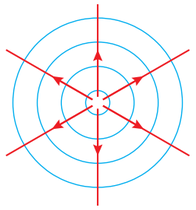
1. Odpowiedz na pytania na podstawie rysunków.

a) Którym kolorem zaznaczono na rysunku powierzchnie falowe, a którym – promienie falowe?

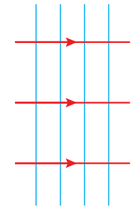
b) Który z rysunków przedstawia falę kolistą, a który – płaską?

c) Który z rysunków może przedstawiać fale świetlne emitowane przez laser, a który – przez żarówkę?

A.



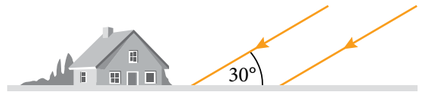
B.



2. W pewnej chwili słońce znajduje się 30° nad horyzontem, co oznacza, że promienie słoneczne tworzą z poziomą powierzchnią kąt 30° (patrz rysunek). Narysuj bieg promienia światła padającego na zwierciadło i odbitego od niego, jeśli zwierciadło jest ustawione:

a) poziomo, **b)** pionowo.

Zaznacz na swoich rysunkach kąty padania i odbicia. Zapisz ich miary.



Lekcja 21.

3. Gdy słońce zajdzie, całkowita ciemność nie zapada natychmiast. Nad ranem także robi się jasno, zanim słońce wzejdzie.

a) Dlaczego tak się dzieje? Wyjaśnij to zjawisko za pomocą schematycznej ilustracji.

b) Czy tak samo jest na Księżycu?

4. Wyjaśnij, dlaczego na Księżycu cienie są znacznie ostrzejsze niż na Ziemi i bardziej kontrastują z miejscami oświetlonymi.

5. Promienie słoneczne dochodzące do Ziemi są praktycznie równoległe. Jak więc wyjaśnić ich wygląd na zdjęciu poniżej? Czy zdarzyło ci się widzieć na własne oczy tak rozbiegające się promienie światła słonecznego?



6. Zastanów się, jaki kolor ma Słońce widziane z Księżyca:

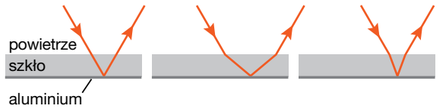
a) gdy znajduje się wysoko na księżycowym niebie,

b) tuż przed zachodem.

Lekcja 22.

7. Lustro jest zbudowane ze szklanej tafli, pokrytej z jednej strony srebrzystą warstwą aluminium. Wskaż właściwy rysunek przedstawiający odbicie światła od takiego lustra. Uzasadnij swój wybór.

A. **B.** **C.**



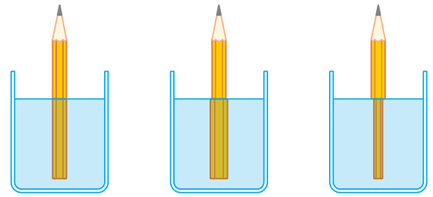
8. Wycieraczki samochodowe są niezbędne w czasie deszczu, ponieważ bez nich przez szybę pokrytą kroplami deszczu kierowca nie widziałby otoczenia. Dlaczego w takim razie możemy oglądać ryby przez szybę akwarium, choć od wewnętrznej strony jest ona cała pokryta wodą?

9. Obejrzyj film *Why These Balls Become Invisible Under Water* na kanale „Technicality” w serwisie YouTube i zapisz w kilku zdaniach odpowiedź na pytanie postawione w tytule.

10. Jak z boku wygląda ołówek wstawiony pionowo do szklanki z wodą?

a) Spróbuj to przewidzieć i wskaż odpowiedni rysunek. Możesz sobie pomóc samodzielnie wykonanym rysunkiem przedstawiającym z góry: wodę, ołówek i promienie światła biegnące od ołówka do oczu obserwatora. Możesz pominąć fakt, że pomiędzy wodą a powietrzem znajduje się szkło, i rysować bieg załamanego światła tak, jakby woda graniczyła bezpośrednio z powietrzem.

A. **B.** **C.**



b) Sprawdź swoje przypuszczenia doświadczalnie.

Lekcja 23.

11. Czy fala dźwiękowa może ulec całkowitemu wewnętrznemu odbiciu, kiedy rozchodzi się w wodzie i pada na granicę stali? A jeśli rozchodzi się w stali i pada na granicę wody?

12. W szklanym akwarium znajduje się woda. Czy całkowite wewnętrzne odbicie może zachodzić przy przejściu światła:

a) z wody do szkła,

b) ze szkła do wody?

13. To zdjęcie wykonał nurek aparatem fotograficznym skierowanym w górę. Dlaczego cały obraz mieści się w kole, a naokoło niego widać ciemny obszar?



Wskazówka. Przedstawione zjawisko nazywa się „oknem Snelliusa”.

Lekcja 24.

14. Gdy tęczę oglądamy na równinie, możemy zaobserwować maksymalnie połowę jej pełnego okręgu. Czasami jednak widzimy znacznie mniejszy jej fragment (zob. zdjęcie). W jaki sposób zależy to od pory dnia i pory roku?



15. Jakub chciał sfotografować swój dom, ale budynek nie mieścił się w kadrze. Chłopak cofnął się więc o kilka kroków i już mógł wykonać zdjęcie. Czy może postąpić w podobny sposób, jeśli w kadrze nie zmieści mu się tęcza?

16. O jakiej porze roku najłatwiej zaobserwować na niebie halo? Dlaczego?

17. Czy ilustracja może przedstawiać prawdziwe zdjęcie tęczy? Po czym można to rozpoznać?

a)



b)



18. Czy zdjęcie przedstawia fragment tęczy, czy fragment halo? Po czym to można rozpoznać?



Lekcja 25.

19. W którym przypadku łatwiej zaobserwować dyfrakcję światła?

a) na czubku wąsa kota czy na całym kocie?

b) na ostrzu szpilki czy na łebku szpilki?

20. Spośród promieni światła o podanych barwach dyfrakcji najłatwiej ulega światło:

A. czerwone

B. żółte

C. zielone

D. niebieskie

21. Wskaż zdania prawdziwe. Dla nieprawdziwych określ, jak je poprawić.

a) Fale dźwiękowe uginają się na przeszkodach znacznie większych niż światło, ponieważ mają znacznie większą częstotliwość.

b) Dyfrakcja jest dowodem falowej natury światła.

c) Za pomocą dźwięków słyszalnych dla człowieka nietoperz nie upolowałby owada, ponieważ owady są mniejsze niż długość fali dźwiękowej.

Lekcja 26.

22. Jakie fale ulegają interferencji?

A. żadne

B. wszystkie

C. tylko mechaniczne

D. tylko elektromagnetyczne

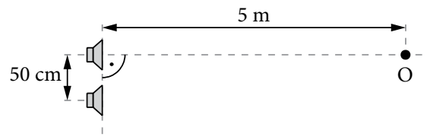
23. Dwa głośniki emitują identyczne fale dźwiękowe o częstotliwości 34,4 Hz. Znajdujemy się w punkcie oddalonym o x od jednego z nich i o y od drugiego. Które ze zjawisk zaobserwujemy: wygaszenie fal czy wzmocnienie?

a) $x = 4$ m, $y = 14$ m

b) $x = 20$ m, $y = 35$ m

24. Dwa głośniki emitują identyczne fale dźwiękowe. Podaj dwa przykłady długości fali dźwiękowej, dla której obserwator stwierdzi wzmocnienie fal, i dwie długości, dla których stwierdzi wygaszanie.

Wskazówka. Skorzystaj z twierdzenia Pitagorasa.



Lekcja 27.

25. Czy gdyby wykonać płytkę szklaną tak cienką jak błona bańki mydlanej, to także powstawałyby na niej tęczowe barwy?

Zdjęcie do zadań 26. i 27.



26. Sylwetka wewnątrz świetlistych kręgów to (**A**/**B**), czyli (**C**/**D**).

A. widmo Brockenu

B. wieniec

C. odbicie obserwatora w stawie znajdującym się za mgłą

D. cień obserwatora widoczny na chmurach poniżej

27. Światło naokoło sylwetki to:

A. tęcza **C.** gloria

B. halo **D.** iryzacja

28. Dopasuj wyjaśnienia I–III do zjawisk.

a) trawa jest zielona

b) dolna połowa flagi Polski jest czerwona

c) gdy białe światło przepuścimy przez pryzmat, widzimy różne barwy

d) w przypadku iryzacji chmury widzimy różne barwy

e) w odbiciu światła od płyty DVD widzimy różne barwy

f) bańki mydlane mienią się kolorami

g) w tęczy widzimy różne barwy

h) w halo wokół Słońca widzimy różne barwy

i) w odbiciu światła od płyty CD widzimy różne barwy

I. barwy widzimy z powodu obecności barwnika
II. barwy widzimy z powodu załamania światła
III. barwy widzimy z powodu interferencji światła

Lekcja 28.

29. Okulary polaryzacyjne mają wiele zalet, ale też jedną wadę: nie zawsze można w nich patrzeć na wyświetlacze LCD, a to może być potrzebne np. w czasie jazdy samochodem. Jak odczytać wskazanie takiego wyświetlacza bez zdejmowania okularów?

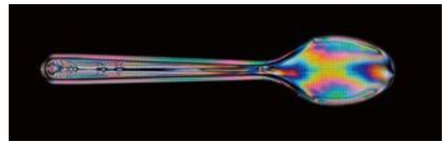
30. Uliczny handlarz zachęca do zakupu bardzo tanich okularów polaryzacyjnych. Jak najłatwiej sprawdzić, czy cię nie oszukuje i nie sprzedaje zwykłych okularów przeciwsłonecznych?

31. Dowiedz się, w jaki sposób polaryzatory wykorzystuje się w jednym z systemów wyświetlania filmów trójwymiarowych.

32. Przyjrzyj się zdjęciu plastikowej łyżki wykonanemu przez polaryzator.

a) Spróbuj zobaczyć (a najlepiej sfotografować) podobny efekt samodzielnie. Możesz wykorzystać przezroczystą linijkę. Najlepszy rezultat uzyskasz, jeśli ją lekko wygniesz.

b) Dowiedz się, skąd bierze się obserwowany efekt i jakie jest jego praktyczne zastosowanie.

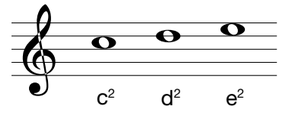


Lekcja 29.

33. Samochód jest wyposażony w klakson, emitujący dźwięk odpowiadający nucie d^2. Której z nut zaznaczonych na pięciolinii może odpowiadać słyszany przez nas dźwięk klaksonu wtedy, gdy stoimy obok drogi, a samochód z dużą prędkością:

a) zbliża się do nas,

b) oddala się od nas.



34. Zbliżamy się z ogromną i stale rosnącą prędkością do źródła światła żółtego. Opisz, jakie barwy będziemy widzieli w miarę wzrostu prędkości, patrząc na to źródło.

35. Oddalamy się z ogromną i stale rosnącą prędkością od źródła światła żółtego. Opisz, jakie barwy będziemy widzieli w miarę wzrostu prędkości, patrząc na to źródło.

★36. Dowiedz się, w jaki sposób powstaje promieniowanie Czerenkowa. Wytłumacz, jak to możliwe, że emitująca je cząstka porusza się szybciej od światła.

Dział 10. Atomy i promieniowanie

Lekcja 30.

1. Uporządkuj fale opisane w ramce według rosnącej:

a) długości fali

b) częstotliwości

c) energii fotonu

mikrofale • nadfiolet • podczerwień • promieniowanie rentgenowskie • światło widzialne

2. Kuchenka mikrofalowa podgrzewa jedzenie falami o częstotliwości 2450 MHz. Oblicz energię pojedynczego fotonu takiego promieniowania.

★ **3.** Zielony wskaźnik laserowy emituje światło o mocy 5 mW i długości fali 532 nm. Ile fotonów emituje w ciągu jednej sekundy?

Lekcja 31.

4. Router wi-fi łączy się z komputerem za pomocą promieniowania mikrofalowego. Czy trzeba się obawiać, że to promieniowanie może spowodować mutację w DNA, a w konsekwencji – nowotwór? Uzasadnij swoją odpowiedź.

5. Światło widzialne obejmuje długości fal od 380 nm (fiolet) do 780 nm (czerwień). Oblicz maksymalną i minimalną częstotliwość światła widzialnego oraz odpowiadające im wartości energii fotonów. Odpowiedz, dla jakich metali efekt fotoelektryczny może zostać wywołany przez światło widzialne.

★ **6.** Srebrną elektrodę oświetlamy promieniowaniem UV o długości fali 256 nm. Oblicz maksymalną prędkość wybitych elektronów.

Lekcja 32.

7. Oszacuj bez obliczeń, która z fal materii będzie miała większą długość: słonia biegnącego z prędkością 5 $\frac{m}{s}$ czy myszy o prędkości 10 $\frac{m}{s}$?

8. Z ilu co najmniej fotonów musi składać się wiązka światła, aby można ją uznać za falę?

A. wystarczy jeden foton

B. musi ich być co najmniej 2

C. musi ich być co najmniej 10

D. musi ich być co najmniej $6{,}022 \cdot 10^{23}$

9. Przeczytaj fragment powieści fantastycznej napisanej przez wybitnego fizyka George'a Gamowa. Bohaterowie książki trafiają do dżungli, w której zjawiska kwantowe są wyraźniejsze niż w prawdziwym świecie. Z jakim zjawiskiem kwantowym się tam spotkali?

— Spójrzcie, gazele! I jakie ich mnóstwo — zawołał sir Richard, podnosząc strzelbę. (...)

Tresowane gazele — pomyślał pan Tompkins. — Biegną jak regularny oddział żołnierzy na paradzie. Ciekaw jestem, czy to także jakiś efekt kwantowy?

(...) sir Richard był już gotowy do strzału, gdy Profesor powstrzymał go.

— Niech pan nie marnuje naboi, istnieje bardzo mała szansa trafienia zwierzęcia, gdy porusza się (...),

— Co pan miał na myśli, mówiąc zwierzę? — wykrzyknął sir Richard. — Tu jest przecież przynajmniej kilka tuzinów gazeli.

— O nie, tu jest tylko jedna mała gazela. Jest czymś przerażona i biegnie przez zarośla bambusowe. „Rozmazanie" wszystkich ciał ma właściwość analogiczną do zwykłego światła.



Georg Gamow (George Gamow, *Pan Tompkins w Krainie Czarów*, Prószyński i Spółka, Warszawa 1995, s. 111–112)

Lekcja 33.

10. Porównaj fale dominujące w promieniowaniu cieplnym ciał opisanych w ramce. Dla którego z tych ciał są to fale:

a) o największej częstotliwości,

b) o największej długości,

c) o największej energii pojedynczego fotonu?

lód na Antarktydzie • skóra człowieka • Ziemia • Słońce

11. W gwiazdozbiorze Łabędzia świeci widoczna gołym okiem gwiazda Albireo. Oglądana przez mały teleskop, ukazuje aż dwa obiekty. Spójrz na zdjęcie Albireo wykonane za pomocą teleskopu. Porównaj temperatury tych gwiazd.



12. Które ciało jest gorętsze: rozgrzane do białości czy rozgrzane do czerwoności? Odpowiedź uzasadnij.

13. Jakie zjawisko dowodzi, że Słońce emituje światło widzialne o różnych częstotliwościach? Jakie świadczy o tym, że emituje ono także nadfiolet? Podaj przynajmniej po jednym przykładzie takich zjawisk.

Lekcja 34.

14. Podziel poniższe widma na absorpcyjne, emisyjne i ciągłe.

A.



B.



C.



D.



E.



15. Podczas badania widma wodoru zauważono w nim cztery linie emisyjne w zakresie światła widzialnego. Jedna z linii ma długość fali 486 nm.

a) Oblicz częstotliwość promieniowania odpowiadającego tej długości fali.

b) Oblicz energię pojedynczego fotonu tej linii w dżulach i w elektronowoltach.

c) Jaki jest kolor światła związany z tą długością fali?

16. Podczas badania miejsca eksplozji śledczy znaleźli mikroskopijny metaliczny osad. Aby ustalić jego skład, technicy podgrzali próbkę do bardzo wysokiej temperatury i analizowali światło emitowane przez pobudzone atomy. W uzyskanym widmie było widać wyraźne linie o długościach fal charaktery-

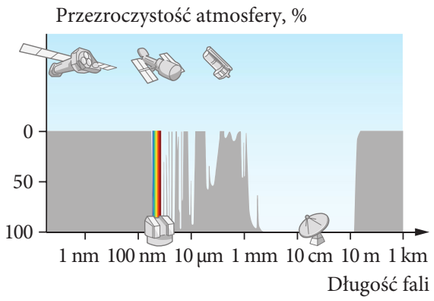
stycznych dla sodu (wykorzystywanego w niektórych materiałach wybuchowych) oraz wapnia. Jakiego rodzaju widmo uzyskano w badaniu próbki?

A. Ciągłe

B. Emisyjne liniowe

C. Absorpcyjne liniowe

17. Cząsteczki w ziemskiej atmosferze pochłaniają część promieniowania docierającego z kosmosu. Na rysunku poniżej pokazano, jaki procent promieniowania o danej długości fali dociera do powierzchni ziemi. Odczytaj z wykresu trzy zakresy długości fal, które do niej nie docierają. Sprawdź, jaki to rodzaj promieniowania. Jaki sposób badania tych fal można proponować astronomom?



Lekcja 35.

18. Elektron zaabsorbował foton, po czym kosztem jego energii wyemitował kolejno foton światła żółtego i foton światła fioletowego. Pochłonięty foton był fotonem:

A. podczerwieni.

B. światła czerwonego.

C. światła niebieskiego.

D. nadfioletu.

19. Energia jonizacji atomu wodoru wynosi 13,6 eV. W jakim zakresie widma są emitowane fotony, które mogą zjonizować ten pierwiastek?

★20. Co stanie się z elektronem na orbicie podstawowej w atomie wodoru po pochłonięciu fotonu o energii 14,2 eV? Jaka będzie końcowa prędkość elektronu?

Lekcja 36.

21. Do jądra pewnego pierwiastka dołączono neutron. Wskaż poprawne dokończenie zdania. W wyniku reakcji:

A. powstał inny pierwiastek o tej samej liczbie atomowej.

B. powstał inny pierwiastek o innej liczbie atomowej.

C. powstał inny izotop tego samego pierwiastka o tej samej liczbie atomowej.

D. powstał inny izotop tego samego pierwiastka o innej liczbie atomowej.

22. Jądro atomu jednego z izotopów pewnego pierwiastka składa się z 54 nukleonów, w tym 30 neutronów. Jaki to pierwiastek?

23. Do jądra atomu rutenu $^{101}_{44}\mathrm{Ru}$ dołączył dodatkowy neutron. Jaki pierwiastek powstał?

24. Ile neutronów jest w jądrze podanego izotopu?

a) $^{113}_{48}\mathrm{Cd}$ **b)** $^{78}_{34}\mathrm{Se}$ **c)** $^{18}_{8}\mathrm{O}$

25. Czy jądra różnych pierwiastków mogą mieć jednakową liczbę masową? Jeśli nie – wyjaśnij dlaczego, jeśli tak – podaj przykłady.

Lekcja 37.

26. Które z właściwości dotyczą promieniowania alfa, a które – beta?

Uwaga. Niektóre podane właściwości nie pasują do żadnego z tych rodzajów promieniowania, a niektóre – do obu.

A. jest strumieniem elektronów

B. jest strumieniem protonów

C. składa się z cząstek naładowanych dodatnio

D. składa się z cząstek naładowanych ujemnie

E. składa się z cząstek obojętnych elektrycznie

F. składa się z cząstek o masie większej od masy protonu

G. jest znacznie mniej przenikliwe niż promieniowanie gamma

H. odchyla się w polu elektrycznym

I. odchyla się w polu magnetycznym

27. Promieniowanie gamma:

A. ma największą przenikliwość.

B. składa się z cząstek naładowanych.

C. odchyla się pod wpływem magnesu.

D. nie przechodzi przez kartkę.

28. Foton gamma powstały w wyniku rozszczepienia jednego jądra uranu-235 miał energię ok. 1,5 MeV. Porównaj tę energię z energią fotonu światła widzialnego o długości fali 500 nm.

29. Wybierz jedno z zastosowań promieniowania opisanych na s. 249 podręcznika. Dowiedz się więcej na jego temat. Zapisz swoje ustalenia i podaj źródła tych informacji.

Lekcja 38.

30. Czy podane zdanie jest prawdziwe? Jeśli nie – popraw je tak, aby było prawdziwe.

a) W niektórych regionach świata promieniowanie jest znacznie silniejsze niż w Polsce.

b) Banany zawierają promieniotwórczy potas-40.

c) Telefon komórkowy wysyła promieniowanie mikrofalowe, które jest rodzajem promieniowania jądrowego.

d) Do połowy XIX w. człowiek nie miał do czynienia z izotopami promieniotwórczymi.

31. Promieniowanie kosmiczne odkryto podczas pomiarów dokonywanych z balonów.

a) Początkowo badacze przypuszczali, że na dużej wysokości naturalnie występujące promieniowanie będzie słabsze niż przy powierzchni Ziemi. Jak sądzisz, dlaczego tak sądzili?

b) Ku zaskoczeniu badaczy okazało się, że początkowo, w miarę wznoszenia się, promieniowanie słabnie, ale następnie znów się nasila, a nawet staje silniejsze niż na ziemi. Wyjaśnij, z czego wynikają te zmiany.

32. (i) Jaką łączną dawkę promieniowania pochłonąłby astronauta lecący z Ziemi na Marsa? Podróż na Marsa trwa ok. 9 miesięcy. Porównaj tę wartość z dawką pochłoniętą podczas tomografii głowy. Która z nich jest większa i ile razy?

33. (i) Całkowita dawka promieniowania stosowana do leczenia raka piersi wynosi ok. 50 Sv. Ile czasu musielibyśmy podróżować przez kosmos, aby otrzymać zbliżoną dawkę?

Dział 11. Reakcje jądrowe: na Ziemi i w kosmosie

Lekcja 39.

1. Zawarty m.in. w papierosach izotop polonu $^{210}_{84}\mathrm{Po}$ ulega rozpadowi alfa. Zapisz równanie reakcji tego rozpadu. Jaki pierwiastek powstaje w jej wyniku?

2. Najcięższy izotop wodoru, tryt $^{3}_{1}\mathrm{H}$, ulega rozpadowi beta.

a) Zapisz równanie reakcji tego rozpadu. Co powstaje w jej wyniku?

b) Opisana reakcja jest wykorzystywana w niewielkich źródłach światła, takich jak świecące tarcze zegarków. Dowiedz się i opisz w kilku zdaniach, w jaki sposób promieniowanie beta jest zamieniane na światło widzialne.

3. Chorą tarczycę leczy się m.in. izotopem promieniotwórczego jodu $^{131}_{53}$I. Tarczyca pochłania jod, który rozpada się w procesie beta i niszczy chore komórki. Jaki pierwiastek powstaje wskutek tego rozpadu?

4. Promet to jeden z dwóch pierwiastków o masie atomowej mniejszej niż uran, nieposiadających żadnych stabilnych izotopów. Jednak izotop $^{147}_{61}$Pm może powstać w procesie rozpadu alfa innego pierwiastka. Jak nazywa się ten pierwiastek?

Lekcja 40.

Uwaga. Skorzystaj z tabeli czasów połowicznego rozpadu na s. 353.

5. W okresie zimnej wojny niektóre boje morskie (patrz zdjęcie) były zasilane przez rozpad promieniotwórczy strontu-90. Ile gramów z próbki zawierającej 120 g radioaktywnego strontu-90 pozostanie po 230 latach?



6. W pojemniku zamkniętym od 6 lat odnaleziono 0,1 kg cezu $^{134}_{55}$Cs. Oblicz, ile cezu było w pojemniku w chwili jego zamknięcia. Czas połowicznego rozpadu tego izotopu wynosi dwa lata.

7. Siedem ósmych początkowej liczby jąder pewnego izotopu promieniotwórczego ulega rozpadowi w czasie 24 godzin. Wskaż poprawne dokończenie zdania. Okres połowicznego rozpadu tego izotopu jest równy:

A. 2 godziny. **C.** 8 godzin.

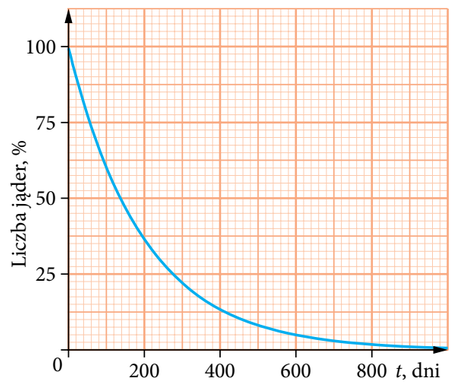
B. 4 godziny. **D.** 12 godzin.

Lekcja 41.

8. Samar-153 jest wykorzystywany do leczenia bólu nowotworowego kości. Pacjentce podano jednorazowo 1 mg samaru. Ile pozostanie go po 12 godzinach? Zaniedbaj wydalanie samaru przez organizm pacjentki.

9. Czujnik dymu zawiera 0,3 mikrograma ameryku-241. Po jakim czasie w czujniku zostaną tylko 0,2 mikrograma ameryku?

10. Poniższy wykres przedstawia krzywą rozpadu promieniotwórczego polonu $^{210}_{84}$Po. Odczytaj czas połowicznego rozpadu tego pierwiastka.



11. Archeolodzy odkryli fragment starożytnej ramy zwierciadła, wykonanej z drewna zawierającego 58% początkowej ilości węgla-14. Ile lat ma odkryty zabytek?

12. Sondy kosmiczne Voyager wyruszyły w drogę w 1977 r. Na zdjęciu widzisz jedną z sond w czasie testów przed startem. Sondy te są zasilane przez urządzenia wykorzystujące rozpad plutonu-238. Oceń, do ilu procent początkowej wartości zmalała do dziś wydajność tych urządzeń.



Lekcja 42.

13. Wybierz właściwe uzupełnienia i zapisz w zeszycie całe powstałe w ten sposób zdania.

W elektrowni jądrowej jądra *ciężkich pierwiastków* / *lekkich pierwiastków* jak na przykład *wodór* / *stront* / *uran* *łączą się* / *rozpadają się*.

Elektrownia jądrowa, jeśli wliczymy etap jej budowy,

wytwarza *znacznie więcej* / *znacznie mniej* / *tyle samo*

dwutlenku węgla *niż/co* elektrownia węglowa.

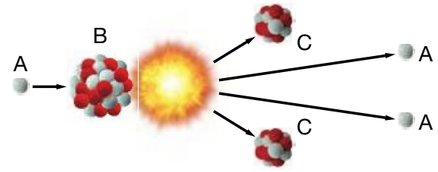
14. Po zderzeniu z neutronem rozszczepienie jądra plutonu następuje zgodnie z równaniem:

$^{239}_{94}\text{Pu} + \text{n} \rightarrow {}^{130}_{51}\text{Sb} + \text{X} + 3\text{n}$.

Podaj liczbę masową i atomową pierwiastka X oraz jego nazwę.

Zapisz w zeszycie uzupełnione równanie reakcji.

15. Co oznaczono poszczególnymi literami na schemacie reakcji rozszczepienia?



16. Oblicz rozmiary kuli uranu-235 o masie krytycznej. Do którego z obiektów przedstawionych na zdjęciach pasowałaby wielkością? Gęstość uranu-235 to $d = 19\,050\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.



17. Na terawatogodzinę (1000 miliardów kilowatogodzin) energii elektrycznej wygenerowanej w Europie węgiel jest odpowiedzialny za 0,12 zgonów w wypadkach, 25 zgonów z powodu zanieczyszczeń i 225 przypadków poważnych chorób. Energia jądrowa odpowiada za 0,02 przypadkowych zgonów, 0,05 zgonów spowodowanych zanieczyszczeniem i 0,22 przypadków zachorowań. Roczna produkcja energii elektrycznej w Polsce wynosi 170 TWh (dane za 2024 r.).

Ilu zgonów i ilu chorób można by uniknąć, gdyby wszystkie elektrownie w Polsce były elektrowniami jądrowymi, w porównaniu do sytuacji, w której pracują tylko elektrownie węglowe?

Lekcja 43.

18. Wybierz właściwe uzupełnienia i zapisz w zeszycie całe zdania powstałe w ten sposób.

Słońce świeci, ponieważ zachodzi tam reakcja przemiany jąder *wodoru/ helu/ uranu* w jądra *wodoru/ helu/ uranu/ strontu*.

Podobna reakcja jak w Słońcu zachodzi w bombie *atomowej/ wodorowej*.

Jeśli porównamy elektrownię jądrową i planowaną elektrownię termojądrową, to znacznie więcej odpadów radioaktywnych wytwarza elektrownia *jądrowa/ termojądrowa*.

19. Wyobraź sobie, że musisz zbudować elektrownię atomową. Masz do dyspozycji: zapasy wodoru, pręty paliwowe, pojemnik otoczony polem magnetycznym, pręty regulacyjne oraz pojemnik na odpady promieniotwórcze. Zapisz w zeszycie, jakie części składowe przydadzą się do budowy elektrowni jądrowej, a jakie do budowy elektrowni termojądrowej.

20. W wyniku spalenia kilograma węgla uzyskujemy energię $3{,}3 \cdot 10^7$ J.

a) W procesie rozszczepienia promieniotwórczego kilograma paliwa jądrowego jest wytwarzana energia $8{,}8 \cdot 10^{13}$ J. Ile kilogramów węgla trzeba spalić, aby wytworzyć taką energię?

b) W reakcji syntezy kilograma helu z wodoru powstaje energia $6 \cdot 10^{14}$ J. Ile kilogramów węgla trzeba spalić, aby wytworzyć taką energię?

21. Przeczytaj ramkę „A to ciekawe” na s. 293. Które ze zdań najlepiej oddają wniosek z opisanych tam wydarzeń? Zapisz te zdania w zeszycie.

A. Naukowcy nigdy się nie mylą.

B. Naukowcy mogą się pomylić.

C. Nie należy wierzyć w ustalenia nauki, ponieważ mogą się okazać błędne.

D. Należy sceptycznie podchodzić do wyników pojedynczego doświadczenia, zanim zostaną sprawdzone przez innych naukowców.

E. Możemy mieć zaufanie do ustaleń nauki wtedy, gdy wyniki badań zostaną niezależnie sprawdzone przez różne osoby, ponieważ to pozwala zauważyć ewentualne błędy.

Lekcja 44.

22. W ZSRR 30 października 1961 r. odpalono „car-bombę” – bombę termojądrową , w której wyzwolona została energia 50 megaton trotylu. Tona trotylu to ekwiwalent $4{,}2 \cdot 10^9$ J energii. Oblicz, o ile mniejsza była masa pozostałości po eksplozji od początkowej masy bomby.

23. Oblicz swoją energię spoczynkową. Porównaj ją z całkowitym światowym zużyciem energii elektrycznej w 2024 r., które wyniosło 30 850 TWh.



24. Gwiazda supernowa emituje w ciągu wybuchu energię ok. 10^{44} J. O ile mniejsza jest łączna masa pozostałości po wybuchu od masy gwiazdy tuż przez eksplozją? Porównaj ten ubytek z masami Ziemi i Słońca.

Lekcja 45.

25. W trakcie procesu przemiany wodoru w hel łączna masa jąder po reakcji:

A. jest taka sama jak przed reakcją.

B. jest mniejsza, ponieważ część masy zmienia się w energię.

C. jest większa, ponieważ powstaje większe jądro.

D. może być mniejsza lub większa niż przed reakcją – to zależy od konkretnej reakcji.

26. Oblicz deficyt masy i energię wiązania jądra żelaza $^{56}_{26}\mathrm{Fe}$. Jaka energia wiązania przypada na jeden nukleon w tym jądrze?

27. Sprawdź w podręczniku, ile wynosi energia wiązania jądra helu $^{4}_{2}\mathrm{He}$. Oblicz energię wiązania przypadającą na jeden nukleon w tym jądrze. Porównaj wynik z energią wiązania przypadającą na nukleon w jądrze żelaza obliczoną w poprzednim zadaniu. Która z nich jest większa?

28. W niektórych reaktorach jądrowych wykorzystuje się energię z rozszczepienia plutonu-239.

Reakcja rozszczepienia może przebiegać zgodnie ze wzorem:

$$^{239}_{94}\mathrm{Pu} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{141}_{56}\mathrm{Ba} + {}^{92}_{36}\mathrm{Kr} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 3\,{}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

Oblicz, ile energii wydziela się w tej reakcji rozszczepienia 1 kg plutonu-239.

Lekcja 46.

29. Ciśnienie we wnętrzu Słońca wynosi $p = 2 \cdot 10^{16}$ Pa.

a) Ile to razy więcej od ciśnienia atmosferycznego na Ziemi? Zapisz odpowiedź w notacji wykładniczej i słownie.

b) Wyobraź sobie, że na podłodze stawiamy igłę ostrzem do dołu i obciążamy ją masywnym ciałem. Jaką masę powinno mieć to ciało, aby igła wywierała na podłogę ciśnienie równe p? Podaj przykład ciała o zbliżonej masie.

Przyjmij, że ostrze igły ma powierzchnię $0{,}1\ \mathrm{mm}^2$.

30. Ustaw poniższe etapy życia Słońca w kolejności

a) od najwcześniejszego do najpóźniejszego

b) od najmniejszego do największego rozmiaru

c) od najmniejszej do najwyższej temperatury powierzchni

biały karzeł • czarny karzeł • czerwona gwiazda, w której hel zmienia się w węgiel • żółta gwiazda, paląca wodór w jądrze

31. Ze spalenia 1 kg czystego węgla uzyskujemy 33 MJ energii. Potrzebujemy do tego także 2,7 kg tlenu. Masa Słońca wynosi $2 \cdot 10^{30}$ kg, a rocznie wypromieniowuje ono $1{,}2 \cdot 10^{34}$ J energii. Jak długo mogłoby świecić Słońce, gdyby jego energia pochodziła ze spalania węgla?

Załóż, że Słońce składałoby się tylko z czystego węgla i tlenu w optymalnych proporcjach.

★32. W trakcie końcowych etapów ewolucji Słońce zostanie białym karłem – gwiazdą o masie dwukrotnie mniejszej od obecnej masy i promieniu zaledwie 0,014 obecnego promienia. Porównaj obecne przyspieszenie grawitacyjne na powierzchni Słońca z przyspieszeniem na powierzchni takiego białego karła.

Wskazówka. Przyspieszenie grawitacyjne jest liczbowo równe sile działającej na ciało o masie 1 kg, a tę siłę możesz obliczyć z prawa powszechnego ciążenia $F = G\frac{Mm}{r^2}$.

Lekcja 47.

33. Ustaw po kolei kolejne etapy życia bardzo ciężkiej gwiazdy i zapisz je uporządkowane w zeszycie.

A. Czarna dziura

B. Czerwony olbrzym

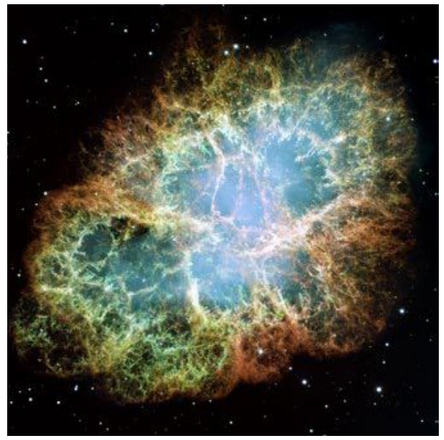
C. Gwiazda zamieniająca wodór w hel

D. Supernowa

E. Zapadający się obłok gazowy

Informacja do zadań 34. i 35.

Mgławica Krab to pozostałość po supernowej, której wybuch odnotowano w chińskich kronikach w 1054 r. W jej centrum znajduje się gwiazda neutronowa o średnicy 30 km, masie dwukrotnie większej od masy Słońca i okresie obrotu 33 ms.



34. Oblicz prędkość liniową punktów na równiku gwiazdy neutronowej w mgławicy Krab.

35. Oblicz średnią gęstość jądra atomowego na przykładzie jądra węgla. Promień i masa tego jądra wynoszą:

$r_c = 2{,}2 \cdot 10^{-15}$ m, $m_c = 1{,}99 \cdot 10^{-26}$ kg.

Porównaj tę gęstość z gęstością gwiazdy neutronowej w mgławicy Krab.

36. Promień czarnej dziury – obiektu, z którego prędkość ucieczki przekracza prędkość światła – o danej masie można obliczyć ze wzoru $R = \frac{2GM}{c^2}$.

Oblicz, do jakiego rozmiaru trzeba by ścisnąć Słońce, aby zostało czarną dziurą. Podobne obliczenia przeprowadź dla Ziemi.

Lekcja 48.

37. Czy w gazie, z którego uformowały się pierwsze gwiazdy powstałe po Wielkim Wybuchu, znajdowały się jądra żelaza? Odpowiedz uzasadnij.

38. Jedna z galaktyk obserwowanych przez badaczy oddala się od nas z prędkością 100 $\frac{km}{s}$, a druga z prędkością 300 $\frac{km}{s}$. Która z nich znajduje się dalej od nas, jeśli ich ruch wynika tylko z rozszerzania się Wszechświata?

39. Na podstawie samodzielnie wyszukanych informacji napisz w zeszycie krótką notatkę o znanych już dziś planetach pozasłonecznych. Która z nich jest najbliżej Słońca? O której najwięcej dziś wiemy? Czy znamy planety pozasłoneczne okrążane przez księżyce?

40. Obejrzyj plakaty ze strony https://science.nasa.gov/exoplanets/immersive/exoplanet-travel-bureau/. Jak uważasz, którą z przedstawionych na nich planet warto odwiedzić i dlaczego?

41. Ludzkość od dawna próbuje nawiązać kontakt z możliwymi innymi cywilizacjami z kosmosie. W 1974 r. do gromady gwiazd wysłano sygnał radiowy z ogromnego radioteleskopu Arecibo, który po odkodowaniu miał kształt rysunku. Wyobraź sobie, że jesteś kosmitą próbującym odczytać tę wiadomość. Co udało Ci się dostrzec i ustalić?

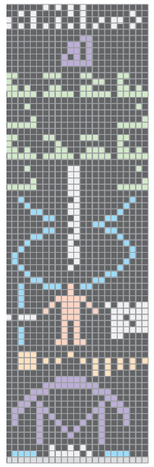


Tabela 1. Wielokrotności i podwielokrotności jednostek

Przedrostek		Mnożnik	Przedrostek		Mnożnik	Przedrostek		Mnożnik	Przedrostek		Mnożnik
E	eksa	10^{18}	M	mega	10^{6}	d	decy	10^{-1}	n	nano	10^{-9}
P	peta	10^{15}	k	kilo	10^{3}	c	centy	10^{-2}	p	piko	10^{-12}
T	tera	10^{12}	h	hekto	10^{2}	m	mili	10^{-3}	f	femto	10^{-15}
G	giga	10^{9}	da	deka	10^{1}	μ	mikro	10^{-6}	a	atto	10^{-18}

Tabela 2. Stałe fizyczne

Stała Plancka	$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J · s = $4{,}14 \cdot 10^{-15}$ eV · s
Prędkość światła	$c = 300\,000\ \frac{km}{s} = 3 \cdot 10^{8}\ \frac{m}{s}$
Ładunek elementarny	$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C
Masa elektronu	$m_e = 9{,}1094 \cdot 10^{-31}$ kg
Masa protonu	$m_p = 1{,}6726 \cdot 10^{-27}$ kg
Masa neutronu	$m_n = 1{,}6749 \cdot 10^{-27}$ kg
Stała elektrostatyczna	$k = 9 \cdot 10^{9}\ \frac{N \cdot m^2}{C^2}$
Stała grawitacji	$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$

Tabela 3. Kąt graniczny

Granica ośrodków	Kąt graniczny
Woda i powietrze	49°
Szkło i powietrze	42°
Szkło i woda	63°
Diament i powietrze	24°

Tabela 4. Ciepło właściwe wybranych substancji

Substancja	c, $\frac{J}{kg \cdot °C}$
Gazy*	
Azot	1040
Powietrze	1000
Tlen	920
Wodór	14 000
Ciecze	
Benzyna	2100
Etanol	2400
Olej lniany	1800
Woda	4200

Substancja	c, $\frac{J}{kg \cdot °C}$
Ciała stałe	
Aluminium	900
Asfalt	1700
Bazalt	900
Ciało człowieka	3500
Diament	510
Lód	2100
Miedź	390
Miedzionikiel MN25	380
Mosiądz	380

Substancja	c, $\frac{J}{kg \cdot °C}$
Ołów	130
Sól kamienna	860
Srebro	240
Stal	460
Styropian	1200
Szkło termometryczne	840
Wolfram	130
Złoto	130
Żelazo	450

* ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu

Tabela 5. Temperatura topnienia, ciepło topnienia, temperatura wrzenia, ciepło parowania

Substancja	Ołów	Rtęć	Tlen	Woda	Złoto
Temperatura topnienia, °C	327	–39	–219	0	1064
Ciepło topnienia, $\frac{kJ}{kg}$	24,5	11,8	13,8	334	64,5
Temperatura wrzenia, °C	1756	357	–183	100	2800
Ciepło parowania w temperaturze wrzenia $\frac{kJ}{kg}$	871	272	213	2256	1578

Tabela 6. Prędkość dźwięku

Ośrodek	$\frac{m}{s}$	$\frac{km}{h}$
Powietrze (20°C)	344	1240
Powietrze (0°C)	332	1195
Powietrze (–20°C)	319	1148
Hel (20°C)	1015	3650
Woda (20°C)	1482	5340
Stal	6000	22 000
Diament	18 000	65 000

Tabela 7. Przybliżona prędkość światła

Ośrodek	Prędkość, $\frac{km}{s}$
Próżnia	300 000
Powietrze	300 000
Woda	225 000
Szkło	200 000
Lód	229 000
Diament	124 000

Uwaga do tabeli 7
1. Wielkości w tabeli zaokrąglono do trzech cyfr znaczących. Przy takim przybliżeniu nie widać różnicy między prędkością światła w powietrzu i w próżni.
2. Prędkość światła w próżni jest równa dokładnie 299 792 458 $\frac{m}{s}$, ponieważ metr definiujemy jako drogę przebytą przez światło w próżni w czasie $\frac{1}{299\,792\,458}$ s.

Tabela 8. Prędkość światła w zależności od częstotliwości fali w różnych ośrodkach

Częstotliwość fali, Hz	Prędkość światła, $\frac{km}{s}$		
	w próżni	w powietrzu	w wodzie
$7{,}5 \cdot 10^{14}$	299 792	299 708	223 176
$5{,}0 \cdot 10^{14}$	299 792	299 709	224 968
$4{,}3 \cdot 10^{14}$	299 792	299 710	225 374

Tabela 9. Widmo światła widzialnego

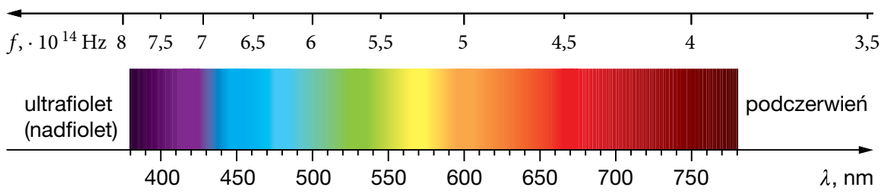


Tabela 10. Praca wyjścia elektronu z powierzchni metali

Metal	Praca wyjścia, eV	Metal	Praca wyjścia, eV
aluminium (glin)	4,2	potas	2,2
arsen	5,1	rubid	2,2
bar	2,5	sód	2,75
cez	2,1	srebro	4,7
cynk	4,3	stront	2,5
ołów	4,0	wolfram	4,6
platyna	5,3	złoto	4,4

Tabela 11. Czasy połowicznego rozpadu izotopów

Izotop	Nazwa	Czas połowicznego rozpadu
$^{3}_{1}H$	wodór (tryt)	12,3 roku
$^{8}_{3}Li$	lit	0,8 s
$^{12}_{5}B$	bor	0,02 s
$^{14}_{6}C$	węgiel	5730 lat
$^{12}_{7}N$	azot	0,011 s
$^{13}_{7}N$	azot	10 min
$^{16}_{7}N$	azot	7,2 s
$^{18}_{9}F$	fluor	110 min
$^{32}_{15}P$	fosfor	14,3 doby
$^{40}_{19}K$	potas	1,3 mld lat
$^{60}_{27}Co$	kobalt	5,3 roku
$^{63}_{28}Ni$	nikiel	100,8 roku
$^{87}_{37}Rb$	rubid	50 mld lat
$^{90}_{38}Sr$	stront	28,9 roku
$^{99}_{42}Mo$	molibden	66 h
$^{99}_{43}Tc$	technet	6 h
$^{131}_{53}I$	jod	8 dób
$^{134}_{55}Cs$	cez	2,06 roku
$^{153}_{62}Sm$	samar	46,3 h
$^{218}_{84}Po$	polon	45 s
$^{222}_{86}Rn$	radon	3,8 doby
$^{226}_{88}Ra$	rad	1600 lat
$^{238}_{92}U$	uran	4,5 mld lat
$^{238}_{94}Pu$	pluton	88 lat
$^{241}_{95}Am$	ameryk	433 lata

Tabela 12. Masy jąder wybranych izotopów i cząstek wchodzących w ich skład

Izotop	Nazwa	Masa, $\cdot 10^{-27}$ kg
p	proton	1,6726
n	neutron	1,6749
$^{1}_{1}H$	wodór	1,6726
$^{2}_{1}H$	wodór (deuter)	3,3436
$^{3}_{1}H$	wodór (tryt)	5,0074
$^{4}_{2}He$	hel	6,6447
$^{12}_{6}C$	węgiel	19,9210
$^{56}_{26}Fe$	żelazo	92,8821
$^{92}_{36}Kr$	krypton	152,6142
$^{93}_{36}Kr$	krypton	154,2832
$^{94}_{38}Sr$	stront	155,9155
$^{90}_{38}Sr$	stront	149,2607
$^{90}_{39}Y$	itr	149,2588
$^{100}_{40}Zr$	cyrkon	165,8813
$^{130}_{52}Te$	tellur	215,6670
$^{140}_{56}Ba$	bar	232,2760
$^{141}_{56}Ba$	bar	233,9429
$^{144}_{56}Ba$	bar	238,9387
$^{218}_{84}Po$	polon	361,9359
$^{222}_{86}Rn$	radon	368,5905
$^{226}_{88}Ra$	rad	375,2438
$^{233}_{92}U$	uran	386,8876
$^{235}_{92}U$	uran	390,2158
$^{239}_{94}Pu$	pluton	396,8698

Tabela 13. Częstotliwość dźwięków muzycznych

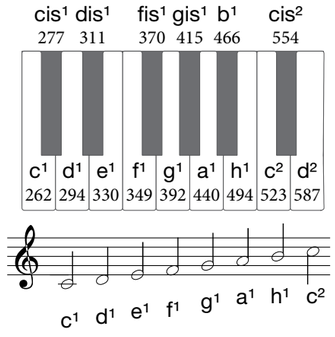
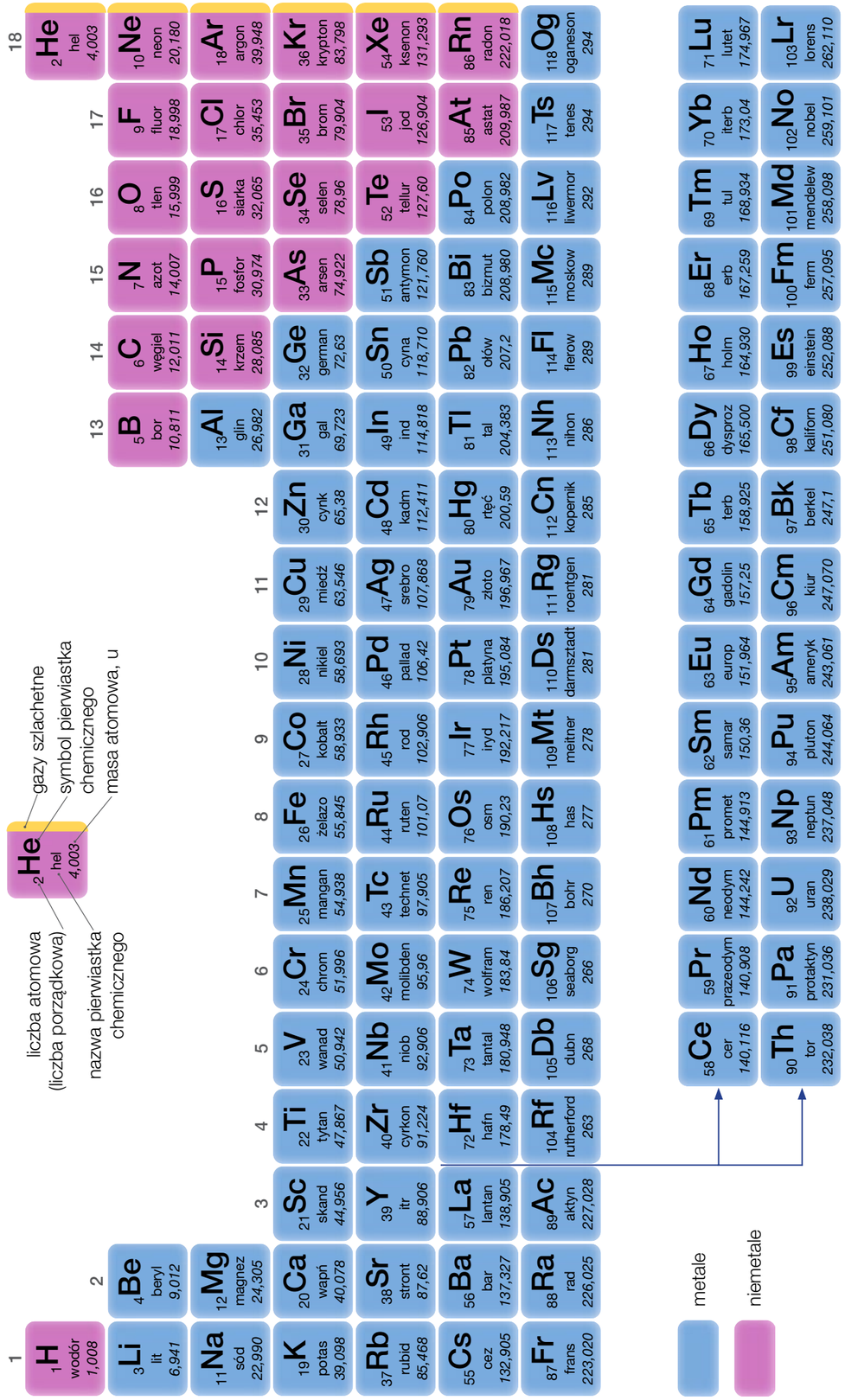


Tabela 14. Dane o niektórych ciałach niebieskich

Ciało niebieskie	Promień, km	Masa, kg
Słońce	695 500	$1{,}99 \cdot 10^{30}$
Ziemia	6400	$5{,}97 \cdot 10^{24}$
Księżyc	1740	$73{,}5 \cdot 10^{21}$



Indeks

A
alfa 241, 249, 267
amplituda 78, 99, 110–111
anihilacja 296
antymateria 245, 297
Arago, François 173
Arystoteles 160

B
bańki mydlane 177
barwa dźwięku 130
barwy strukturalne 178–179
Becquerel, Henri 250
beta 249, 268
biały karzeł 305, 308, 311
bilans energetyczny Ziemi 52
Buys-Ballot, Christophorus 191

C
całkowite wewnętrzne odbicie 149–154
ciało
– bezpostaciowe 37
– krystaliczne 37
ciepło 9, 13, 14, 44, 45
– parowania 42
– topnienia 42
– właściwe 24, 28
Curie, Pierre 250
czarna dziura 310, 320
czarny karzeł 305, 311
czas połowicznego rozpadu 274, 278
cząsteczka 7, 8, 23, 36, 37
czerwony olbrzym 304, 311
częstotliwość
– drgań 79
– fali 99, 104, 110, 114
– graniczna 204

D
de Broglie, Louis Victor 213
deficyt masy 299–302
deuter 244, 290
długość fali 99, 103, 110, 114, 213, 223
Doppler, Christian 191
doświadczenie
– Rutherforda 242
– Younga 170, 214
dualizm korpuskularno-falowy 211
dwutlenek węgla 53, 62
dyfrakcja 162–166, 178–179, 211
dźwięk 108–114, 130

E
efekt
– cieplarniany 53–55, 58, 59
– Dopplera 186–192, 314
– fotoelektryczny 202–205, 218
Einstein, Albert 205, 206, 217, 218, 225
elektronowolt 209
elektrownia jądrowa 284–287
energia
– fotonu 206
– jonizacji 238
– potencjalna sprężystości 87–89
– spoczynkowa 296
– wewnętrzna 8–10
– wiązania jądra 300–301

F
fala 97
– elektromagnetyczna 118, 120–121,182
– kolista 133
– kulista 133
– mechaniczna 97
– płaska 133
– podłużna 103, 108
– poprzeczna 103, 182
– uderzeniowa 190
fale
– de Broglie'a 213
– dźwiękowe 108–114
– materii 213, 215
– radiowe 118, 120
faza 35
fotokomórka 207
foton 205, 206
Fraunhofer, Joseph 231
Fresnel, Augustin 173

G
gamma 249, 271
globalne ocieplenie 54
głośność 110
gwiazda 291, 307–312
– neutronowa 310

H
halo 159
Hooke, Robert 75
Hubble, Edwin 313

I
infradźwięki 112–113
interferencja 168, 178–179, 214, 215
iryzacja chmur 178
izotopy 243
– nietrwałe 266
Izydor z Sewilli 160

J
jądro atomowe 242

K
kilowatogodzina 30
klimatyzator 48–50
kolektor słoneczny 32
konwekcja 13
kryształ 37
krzepnięcie 34
kwant 212

L
LCD 184
Lemaître, Georges 314
licznik Geigera–Müllera 248
linie Fraunhofera 231
lodówka 50
lustro weneckie 136–137

M
masa krytyczna 283–284
Maxwell, James Clerk 119
mechanika kwantowa 212, 218
mgławica planetarna 304–305
mikrofale 120–121
mikrofalowe promieniowanie tła 315
mikroskop elektronowy 165, 217
model
– atomu 234
– – Bohra 239
mutacja 253, 256

N
nadfiolet 120–121, 211
neutron 242, 243
Newton, Izaak 75, 119, 160
nukleon 242

O
odbicie fali 134–138
okres drgań 79, 99
– – zależność od masy 85
– fali 99
– połowicznego rozpadu 274, 278

P
parowanie 34, 38, 43
paw 179
PET 297
pierwsza zasada termodynamiki 9
Planck, Max 218, 225
podczerwień 120–121, 224
Poisson, Siméon 173
polaryzacja światła 181–185
polaryzator 182–183
położenie równowagi 78
pompa ciepła 47
powierzchnia falowa 133
praca 9
– wyjścia 208–209

prawo
– Hooke'a 74
– Hubble'a 313
– odbicia 135
prędkość
– dźwięku 114
– fal elektromagnetycznych 116
– fali 104
– światła 116
promieniowanie
– alfa 249
– beta 249, 268
– cieplne 220
– gamma 120–121, 249, 271
– jądrowe 247
– jonizujące 252
– kosmiczne 252–253
– niejonizujące 252
– rentgenowskie 120–121
– termiczne 220
– ultrafioletowe 120–121
promień
– fali 133
– światła 133
prot 244
proton 242, 243
przemiana fazowa 35
przewodnictwo cieplne 13, 14

R
radon 270
reakcja
– jądrowa 266–272, 282, 290
– łańcuchowa 282–283
– syntezy termojądrowej 290–291
reguła czterech „P" 254
resublimacja 34, 35
rezonans 92–96
rozpad
– alfa 267
– beta 268
– promieniotwórczy 267, 273, 278
rozpraszanie
– fali 139–143
– światła 140
rozszczepienie jądra atomowego 282
rozszerzalność cieplna 16–22
ruch drgający 72
ruch ponaddźwiękowy 190
Rutherford, Ernest 241, 292

S
siatka dyfrakcyjna 176
siła sprężystości 72, 74
siły jądrowe 243
sinusoida 78
siwert 255
Skłodowska-Curie, Maria 250
skraplanie 34, 45
Słońce – losy 304–305
smog 59
Soddy, Frederick 292
sprzężenie zwrotne 55–56
stała Plancka 206, 209
stan skupienia 7, 34
sublimacja 34, 35
supernowa 308–311
synteza termojądrowa 290

Ś
światło 202, 205
światłowód 152–153

T
temperatura 8
teoria 119
termodynamika 6
termometr 8, 14, 17
tęcza 156
topnienie 34, 36, 42
tryt 244, 290

U
ugięcie fali 163
ultradźwięki 112–113
ultrafiolet 120–121, 211

W
widmo 229
– absorpcyjne 230
– ciągłe 229, 239
– emisyjne 230
– liniowe 229
wieniec 178
Wielki Wybuch 314–315
Wolszczan, Aleksander 309
wrzenie 38
Wszechświat 313–317
– ewolucja 318–319
– rozszerzanie 314
wykres ruchu drgającego 77–78, 88, 90–91
wysokość dźwięku 110

Y
Young, Thomas 170, 214

Z
załamanie fali 146
zasada
– zachowania liczby nukleonów 270
– zachowania ładunku 269
zero bezwzględne 8
zimna fuzja 293
zwierciadło 135

Odpowiedzi i wskazówki do wybranych zadań

Termodynamika

1. Cząsteczki i energia

Zadanie 2. **Wskazówka.** Przypomnij sobie, od czego zależy temperatura ciała.

Zadanie 3. **Wskazówka.** Zwróć uwagę na słowa „zawsze" i „musimy".

2. Pomiar i odczuwanie temperatury

Zadanie 2. **Wskazówka.** Temperatura ciała człowieka (nawet chorego) na pewno jest mniejsza niż 50°C.

Zadanie 4. **Wskazówka.** Termometr mierzy temperaturę – ale jakiego ciała?

3. Rozszerzalność cieplna

Zadanie 2. **Wskazówka.** Na skutek tarcia powietrze w oponie się rozgrzewa.

Zadanie 3. **Wskazówka.** Można przypuszczać, że wydarzenia historyczne nie miały wpływu na temperaturę wody.

Zadanie 4. **Wskazówka.** Przypomnij sobie zjawisko konwekcji.

4. Ciepło właściwe

Zadanie 2. **Wskazówka.** Gdyby próbki miały się ogrzać o tyle samo, to najwięcej energii potrzeba by na substancję o największym cieple właściwym. A jeśli energii jest tyle samo?

Zadanie 3. $E = (m_1 c_1 + m_2 c_2)\Delta T = 68{,}5\ \text{kJ}$

Zadanie 4. **Wskazówka.** Aluminium ma większe ciepło właściwe, więc aluminiowa łyżeczka **o tej samej masie** rozgrzewałaby się wolniej przy dostarczeniu **takiego samego ciepła**. Dlaczego więc jest inaczej?

Zadanie 5. $E = mc\,\Delta T$

a) 1,95 J

b) 105 J

c) 9,5 J

Zadanie 6. $c = \frac{E}{m\Delta T} \approx 900\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot{}^\circ\text{C}}$

5. Wyznaczanie ciepła właściwego

Wskazówka. Zwróć uwagę na jednostki (gramy i kilogramy, minuty i sekundy). 1 litr wody ma masę 1 kg.

Zadanie 1. $c = \frac{Pt}{m\Delta T} = 1800\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot{}^\circ\text{C}}$

Zadanie 2. $\Delta T = \frac{Pt}{mc} = 8{,}6^\circ\text{C}$

Zadanie 3. **Wskazówka.** Najprościej obliczyć, ile ciepła dostarczamy kosztem energii słonecznej. $E = mc\,\Delta T = 18{,}9\ \text{MJ} = 5{,}25\ \text{kWh}$, cena 6,30 zł

6. Zmiany stanu skupienia

Zadanie 4. **Wskazówka.** Ciepło przepływa tylko z ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze.

7. Ciepło topnienia i ciepło parowania

Zadanie 1. $E = mL_\text{p} = 1{,}8\ \text{GJ}$

Zadanie 2. $m = \frac{Pt}{L_\text{t}} = 25{,}9\ \text{kg}$

Zadanie 3. 65%. **Wskazówka.** Najprościej obliczyć energię potrzebną do odparowania wody w ciągu minuty oraz energię pobieraną przez żelazko w tym samym czasie.

Zadanie 4. $E = mc\Delta T = 8{,}5\ \text{MJ}$,

$m_\text{wody} = \frac{E}{L_\text{p}} = 3{,}5\ \text{kg}$

8. Pompy ciepła

Zadanie 5. Energia potrzebna do podgrzania $1\ \text{m}^3$ wody: $E = mc\,\Delta T = 168\ \text{MJ} = 46{,}7\ \text{kWh}$.

9. Zmiany temperatury Ziemi

Zadanie 1. a) $V = \frac{m}{d} = 2\cdot 10^{13}\ \text{m}^3$ (20 bln m^3),

b) liczba butli: $1{,}33\cdot 10^{12}$, łączna pojemność $5{,}33\cdot 10^{13}$ litra

Zadanie 3. **Wskazówka.** Dodatnie sprzężenie zwrotne oznacza nasilenie zjawiska.

10. Ochrona klimatu

Zadanie 2. Jedna osoba przejeżdża 200 km

miesięcznie.

a) 3,5 kg,

b) 28 kg,

c) 7 kg

Zadanie 3. b) 6 razy

Zadania powtórzeniowe

To musisz umieć

1. A

2. D

4. B

5. Aby zmniejszyć utratę ciepła przez parowanie.

6. Marmur

7. A – IV, B – V, C – I, II, D – V, E – III, V

8. C

9. C

To należy umieć

1. A – II, B – I, C – III

2. Gazy przekazują lufie zbyt mało ciepła.

3. B

4. D

5. $E = mc\,\Delta T = 25{,}2$ MJ = 7 kWh, opłata 8,40 zł

6. A

7. Przyspiesza się konwekcję i zwiększa powierzchnię parowania.

8. D

To warto umieć

1. B

2. $E = m_{\dot{z}} c_{\dot{z}} \Delta T_{\dot{z}} = 45000$ J,

$\Delta T_{\mathrm{w}} = \frac{E}{m_{\mathrm{w}} c_{\mathrm{w}}} = 10{,}7°\mathrm{C}$

3. $\Delta T = \frac{Pt}{mc} = 25°\mathrm{C}$

4. $m = \frac{E}{c\Delta T} = 0{,}2$ kg

5. C

6. B

Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

Zadanie 4. b) 25 min

Zadanie 5. ok. 600 W (dokładny wynik zależy od precyzji odczytania współrzędnych punktów na wykresie)

Drgania i fale

11. Prawo Hooke'a

Zadanie 1. a) 4 N, b) 7,5 cm

Zadanie 3. 26 cm

Zadanie 4. e) 16 cm

12. Opis ruchu drgającego

Zadanie 1. $f = 0{,}5$ Hz

Zadanie 2. $A = 3$ cm

Zadanie 3. $A = 5$ cm, $T = 2$ s, $f = 0{,}5$ Hz

13. Wahadło sprężynowe

Zadanie 1. c) rośnie

Zadanie 3. B, F – w dół

Zadanie 4. B

14. Przemiany energii w ruchu drgającym

Zadanie 1. a) $A = 3$ cm, $T = 2$ s, b) ruch w dół, siła wypadkowa w dół; energia potencjalna grawitacji zmienia się w pozostałe dwie formy

Zadanie 2. c) energia potencjalna sprężystości zmienia się w pozostałe dwie formy,
d) **Wskazówka.** Skorzystaj z zasady zachowania energii.

15. Rezonans

Zadanie 2. **Wskazówka.** Jeśli masz wątpliwości, zmierz, ile kroków robisz w czasie np. 10 s.

16. Fale mechaniczne

Zadanie 2. $f = 0{,}125$ Hz

Zadanie 3. $A = 2$ cm, $f = 0{,}05$ Hz

17. Więcej o falach

Zadanie 2. a) $v = \frac{\lambda}{T} = 16\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$, $t = \frac{s}{v} = 62{,}5$ s

Zadanie 3. a) $f = \frac{v}{\lambda} = 344$ Hz,

b) $\lambda = \frac{v}{f} = 34{,}4$ cm

Zadanie 4. $v = \lambda f = 4\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$

18. Fale dźwiękowe

Zadanie 2. **Wskazówka.** Czy fale o większej długości mają wyższą czy niższą częstotliwość?

Zadanie 3. $f = \frac{1}{T} = 500$ Hz **Wskazówka.** Okres to czas, po którym powtarza się **cały** cykl drgań, a więc np. czas między chwilami odpowiadającymi większym maksimom wykresu.

19. Fale elektromagnetyczne

Zadanie 1. A – IV, B – II, C – III, D – I

Zadania powtórzeniowe

To musisz umieć

1. A

2. C

3. C

4. C

5. C

6. A

7. C

8. A – II, B – IV, C – I, D – III

To należy umieć

1. $A = 10$ cm, $T = 0{,}5$ s, $f = 2$ Hz

2. a) w dół, b) w dół, c) rośnie

3. A, C

4. rezonans

5. a) P, b) F, c) F, d) P

6. a) czerwony, b) zielony

To warto umieć

1. A

2. b) E_{ps} zmienia się w dwie pozostałe formy energii

3. B

4. $\lambda = \frac{v}{f} = 8{,}6$ m

5. $\lambda = \frac{c}{f} = 7{,}7$ mm

6. D

7. D

8. a) F, b) P, c) P

9. $f = 125$ kHz, a więc jest to ultradźwięk

Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

1. a) 10,6 s

b) $l = \frac{T^2 g}{4\pi^2} = 2{,}2$ m

c) 33 cm

2. a) $T = 0{,}45$ s, b) $v = \sqrt{\frac{2E_{\mathrm{k}}}{m}} = 1{,}1\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$

3. $f = \frac{c}{\lambda} = 7{,}5 \cdot 10^{19}$ Hz

4. A – IV

Zjawiska falowe

20. Powierzchnie falowe. Odbicie fali

Zadanie 3. 93°

21. Rozpraszanie fal

Zadanie 2. **Wskazówka.** Kiedy możemy zobaczyć promień światła np. z lasera?

Zadanie 5. **Wskazówka.** Wulkan rozpyla w powietrzu dużą ilość pyłów.

22. Załamanie fali

Zadanie 2. a) kąt załamania jest większy

Zadanie 3. W przypadku światła jest odwrotnie (dlaczego?).

Zadanie 4. Ryba jest w nieco niżej (głębiej).

23. Całkowite wewnętrzne odbicie

Zadanie 3. **Wskazówka.** Kąt graniczny dla granicy szkła i powietrza jest mniejszy niż 45°.

24. Tęcza i halo

Zadanie 1. **Wskazówka.** Czy Maciek stoi przodem, czy tyłem do Słońca? A Zosia?

25. Dyfrakcja

Zadanie 2. $\lambda = \frac{v}{f} = 3$ mm

26. Interferencja fal

Zadanie 2. a) $\Delta s = 3\lambda$, wzmocnienie, b) $\Delta s = 1{,}5\lambda$, wyciszenie

Zadanie 3. a) $\Delta s = 5\lambda$, wzmocnienie

Zadanie 4. $\Delta s = 245$ nm $\approx 0{,}5\lambda$, ciemny prążek

27. Dyfrakcja i interferencja światła w przyrodzie

Zadanie 4. **Wskazówka.** Zjawiska powstające dzięki załamaniu światła mają zwykle regularny kształt (np. tęcza jest kołem).

28. Polaryzacja światła

Zadanie 1. **Wskazówka.** Wyobraź sobie, że ustawiamy polaryzatory tak, aby przechodziło przez nie jak najwięcej światła, a następnie zaczynamy obracać.

29. Efekt Dopplera

Zadanie 3. a) 0,5 Hz, b) 1 Hz, c) 0,33 Hz

Zadania powtórzeniowe

To musisz umieć

1. C
2. B
3. C
4. D
5. B
6. B

To należy umieć

1. B
2. C
3. A
4. C
5. a) P, b) F, c) F
6. a) przepuszczą mniej światła, b) nie będą przepuszczać światła, c) nic się nie zmieni
7. A

To warto umieć

1. A
2. A – I, B – II, C – III, D – I, E – II, F – IV, G – II
3. C

Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

1. 63,4 cm. **Wskazówka.** Najpierw oblicz odległość dolnego głośnika od punktu A.

Analiza tekstu

Zadanie 5. 1000 razy

Atomy i promieniowanie

30. Czym jest światło

Zadanie 1. czerwona

Zadanie 3. D

31. Skutki cząsteczkowej natury światła

Zadanie 3. $f = 10^{15}$ Hz;

$E = 6{,}63 \cdot 10^{-19}$ J = 4,14 eV

Zadanie 4. $f = 1{,}28 \cdot 10^{15}$ Hz, ultrafiolet

Zadanie 5. $E = 2{,}04$ eV

32. Czy elektron jest falą

Zadanie 1. a) A, b) C

Zadanie 4. $\lambda = 8 \cdot 10^{-36}$ m

Zadanie 5. 73 nm (kilka razy mniej od światła widzialnego)

33. Promieniowanie termiczne

Zadanie 2. 10 000°C ultrafiolet, 5500°C światło widzialne

Zadanie 4. w podczerwieni; ponieważ

w świetle widzialnym najwięcej promieniowania przypada na kolor czerwony.

35. Oddziaływanie atomów ze światłem

Zadanie 1. A – II, IV, VIII, B – V, VII, C – I, III, VI, D – III

Zadanie 2. Są 4 sposoby.

36. Budowa jądra atomowego

Zadanie 4. Nie, ponieważ niezjonizowane atomy są obojętne elektrycznie, liczba elektronów jest równa liczbie protonów w jądrze, a to ona określa, z jakim pierwiastkiem mamy do czynienia.

37. Promieniowanie jądrowe

Zadanie 1. a) alfa, b) beta

Zadanie 3. Gamma, bo to również fale elektromagnetyczne. Niosą one jednak znacznie większą energię od światła widzialnego (w przeliczeniu na jeden foton) i są bardziej przenikliwe.

38. Wpływ promieniowania na organizmy żywe

Zadanie 2. Prawdziwe są zdania C i E.

Zadanie 4. a) 50 razy, b) 100 razy.

Zadania powtórzeniowe

To musisz umieć

1. A
2. tak: a)
3. B
4. A
5. A
6. C
7. B
8. B
9. C, 10. A

To należy umieć

1. C
2. $E = 4{,}14$ eV
3. $E = 3{,}07$ eV
4. $\lambda = 529$ nm, światło zielone
5. $E = 2{,}34$ eV
6. B
7. A
8. A
9. C

To warto umieć

1. $\lambda < 497$ nm
2. A
3. C
4. A, B, C
5. D
6. $E_k = 1{,}6$ eV

Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

1. $E_k = 2{,}01$ eV
2. mniejsza, ok. 5 000 razy
3. $\lambda = 79$ nm

Reakcje jądrowe: na Ziemi i w kosmosie

39. Reakcje jądrowe

Zadanie 2. a) 7 protonów, 9 neutronów; b) 8 protonów, 8 neutronów

Zadanie 4. a – II, b – I

40. Czas połowicznego rozpadu

Zadanie 1. 2 tony

Zadanie 3. można zbadać 1 pacjenta

41. Wykorzystanie czasu połowicznego rozpadu

Wskazówka do zadań 1–5. Możesz korzystać z wykresu na s. 280 i tabeli 11. na s. 353.

Zadanie 3. a) produktem rozpadu jest stront-87, b) Liczba jąder spadnie do 90% po ok. $0{,}15T$, czyli od powstania meteorytu

minęło ok. 7,3 mld lat – powstał on więc przed powstaniem Układu Słonecznego.

Zadanie 5. ok. 17%

42. Energia jądrowa

Zadanie 2. 125 000, spinacza biurowego

Zadanie 3. $^{142}_{56}\mathrm{Ba}$

43. Energia syntezy termojądrowej

Zadanie 1. nie

Zadanie 3. powstawałby hel, np. do baloników

44. Masa i energia

Zadanie 1. m = 4,99999938 kg

Zadanie 2. $E = 5{,}4 \cdot 10^{17}$ J – prawie tyle samo

Zadanie 3. ok. 3700 bakterii

Zadanie 4. a) $m = 4{,}4 \cdot 10^{9}$ kg, l = 117,3 m

Zadanie 5. ok. 100 mas Ziemi

45. Deficyt masy

Zadanie 1. mniejsza masa: zimny czajnik, dwutlenek węgla, luźna sprężyna, rozładowany powerbank

Zadanie 2. $\Delta m = 1{,}64 \cdot 10^{-28}$ kg

Zadanie 3. $E = 7{,}4 \cdot 10^{14}$ J

Zadanie 4. a) $3{,}4 \cdot 10^{14}$ J, b) ok. 10 mln razy

46. Życie Słońca

Zadanie 3. a) 3; 7 mld, b) $5{,}9 \cdot 10^{13}$ J

Zadanie 4. **Wskazówka.** Objętość kuli o promieniu R obliczamy ze wzoru $V = \frac{4}{3}\pi R^3$

a) $d_1 = 1400\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$ b) $d_2 = 0{,}14\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{m}^3}$, $d_3 = 330\,000\ \frac{\mathrm{ton}}{\mathrm{m}^3}$

47. Życie gwiazd – kosmiczna menażeria

Zadanie 2. C

Zadanie 3. $v = 3770\ \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$

Zadanie 4. **Wskazówka.** Objętość kuli o promieniu R obliczamy ze wzoru $V = \frac{4}{3}\pi R^3$

a) $d = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi R^3} = 2{,}76 \cdot 10^{17}\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$

b) 69 mld ton

48. Wszechświat

Zadanie 1. A – II, B – III, C – IV

Zadanie 3. grawitacyjną

Zadania powtórzeniowe

To musisz umieć

1. C, 2. C, 3. D, 4. A, 5. D, 6. B, 7. A

To należy umieć

1. $^{19}_{8}O \rightarrow {}^{19}_{9}F + e$, 2. B, 3. C

4. a) nieznacznie mniejsza niż, b) nieznacznie większa niż, c) znacznie większa niż, d) znacznie mniejsza niż, e) znacznie większa niż, f) znacznie mniejsza niż

5. 180 000 J

7. C

To warto umieć

1. B

2. T = 10 s

3. $7{,}74 \cdot 10^{-13}$ J

4. 5 dób

5. VII w.

6. a) rad, pluton, b) hel, azot

Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

1. ma 31 lat; zacznie spalać hel w wieku 79 lat

2. 2,4 GJ

3. 60 km

4. prawdziwe: c

5. do ewolucji Słońca

Zbiór zadań

7. Termodynamika

2. **Wskazówka.** Z jaką wielkością znaną z życia codziennego związana jest prędkość ruchu cząsteczek?

6. **Wskazówka.** Ziemia także znajduje się w kosmosie.

13. a) $E = mc\Delta T = 504$ kJ, b) 31,5 kJ

14. a) $\Delta T = \frac{E}{mc} = 0{,}24°\mathrm{C}$, b) 2,6°C

15. **Wskazówka.** Możesz porównać zmianę temperatury obu substancji przy jednakowym dostarczonym cieple. Aby otrzymać dokładny wynik, korzystaj z punktów kratowych (tzn. punktów na skrzyżowaniu kratek).

Substancja A ma ciepło właściwe 3 razy większe.

16. **Wskazówka.** Oblicz energię potrzebną do ogrzewania wody w ciągu 1 min.

a) P = 2268 W, b) ok. 2000 zł

17. $E = Pt$ = 288 kJ

18. $t = \frac{E}{P} = 24$ s

19. $E = mc\Delta T = 178\,500$ J,

$t = \frac{E}{P} = 210\ \mathrm{s} = 3{,}5\ \mathrm{min}$

20. **Wskazówka.** Jeśli nie wiesz – sprawdź doświadczalnie, co się dzieje ze spirytusem.

23. **Wskazówka.** Gdyby nie było strat ciepła, trwałoby tyle samo. W którym wypadku straty ciepła są większe? Co ma do tego pokrywka?

26. $E = mL_{\mathrm{t}} = 6680$ J

27. **Wskazówka.** Woda powstała ze skroplonej pary także na końcu będzie miała temperaturę 100°C.

$E = m_{\mathrm{w}} c_{\mathrm{w}} \Delta T = 67\,200$ J,

$m_{\mathrm{p}} = \frac{E}{L_{\mathrm{p}}} = 0{,}030\ \mathrm{kg} = 30\ \mathrm{g}$

28. a) $E = mL_{\mathrm{p}} = 3{,}38 \cdot 10^{11}$ J,

b) $E = 3{,}38 \cdot 10^{11}\ \mathrm{J} = 94\,000$ kWh, koszt 25% tej energii to 28 200 zł

29. b) **Wskazówka.** Jeśli nie wiesz, obserwuj lodówkę przez dłuższy czas.

30. po 4 latach

31. **Wskazówka.** Każda pompa ciepła pracuje mniej wydajnie, gdy otoczenie ma wysoką temperaturę. A jak pracująca lodówka wpływa na temperaturę otoczenia?

32. **Wskazówka.** Jaka jest różnica między klimatem a pogodą?

34. $1{,}6 \cdot 10^{22}$ J

36. **Wskazówka.** Liczbę ludności obu krajów znajdź w odpowiednich źródłach.

37. **Wskazówka.** Zwróć uwagę, które dane podane są w przeliczeniu na dzień, a które – na rok. a) 118,6 m^2, b) 4450 km^2 (poniżej 1,5% powierzchni Polski)

8. Drgania i fale

1. 13 cm

2. a) 40 N, b) 3,2 cm

3. **Wskazówka.** W tabeli podano długość sprężyny, a nie przyrost długości. Jeśli tak ci wygodniej, możesz narysować w zeszycie tabelę z przyrostem długości. a) 7,25 cm, b) 0,04 N

5. a) x = 1,5 cm, b) t = 0,6 s

6. a) A = 2 cm, T = 1 s, b) 60

8. Dla t = 0,1 s: ruch w dół, prędkość rośnie, siła wypadkowa skierowana w dół.

10. 0,25 N

12. **Wskazówka.** Od czego zależy praca?

13. **Wskazówka.** Zastanów się, jak zmienia się prędkość, położenie i rozciągnięcie sprężyny.

14. Dla t = 0,1 s energia potencjalna grawitacji zamienia się w energię kinetyczną i energię potencjalną sprężystości.

18. $10\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 36\ \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$

21. Nie można odczytać okresu ani częstotliwości.

22. $v = 3\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$, f = 0,5 Hz

23. a) 5 Hz, b) 3 s

24. a) $\lambda = \frac{v}{f} = 12{,}7$ cm, b) 54,8 cm

26. a) $f = \frac{v_{\mathrm{p}}}{\lambda_{\mathrm{p}}} = 1147$ Hz, c) $\lambda_{\mathrm{w}} = \frac{v_{\mathrm{w}}}{f} = 1{,}3$ m

27. **Wskazówka.** Przypomnij sobie dźwięk, jaki wydają te owady.

28. a) $f = \frac{1}{T} = 250$ Hz, $\lambda = \frac{v}{f} = 1{,}38$ m,
b) $\lambda = 6{,}9$ m

36. $f = 50$ Hz, $\lambda = 6000$ km

9. Zjawiska falowe

3. a) **Wskazówka.** Ilustracja nie musi przedstawiać całej Ziemi, ale musi uwzględniać fakt, że powierzchnia Ziemi jest zakrzywiona.

4. **Wskazówka.** Dlaczego na Ziemi w cieniu nie jest całkowicie ciemno?

5. **Wskazówka.** A jak jest z brzegami prostej drogi?

8. **Wskazówka.** Szyba samochodu w czasie deszczu pokryta jest kroplami wody. A szyba akwarium?

11. W pierwszym wypadku – tak (dlaczego?).

12. a) nie

14. Środek łuku tęczy znajduje się naprzeciwko słońca. Jeśli więc słońce jest na niebie wysoko, środek łuku tęczy jest nisko, być może pod horyzontem, a wtedy widzimy mniej niż połowę tęczy.

15. Nie (dlaczego?).

16. W zimie, bo wtedy najłatwiej o kryształki lodu w powietrzu. (Pamiętaj jednak, że nawet wtedy, gdy przy powierzchni ziemi jest dodatnia temperatura, to na większej wysokości może być zimniej).

17. **Wskazówka.** a) Zwróć uwagę na zewnętrzną tęczę. b) Zwróć uwagę na położenie słońca.

18. Jest to halo, a można to uzasadnić na dwa sposoby (jakie?).

19. **Wskazówka.** Im mniejszy przedmiot, tym łatwiej.

20. **Wskazówka.** Im dłuższa fala, tym łatwiej.

23. $\lambda = \frac{v}{f} = 10$ m, a) wzmocnienie,
b) wygaszenie

24. Z twierdzenia Pitagorasa: $\Delta s = 2{,}5$ cm, a więc wzmocnienie dla fal o długości 2,5 cm, 1,25 cm, 0,83 cm itd., osłabienie dla fal o długości 5 cm, 1,67 cm, 1 cm itd.

25. Powstawałyby, ale się nie mieniły.

30. **Wskazówka.** Prawdopodobnie handlarz ma więcej niż jedną parę.

33. **Wskazówka.** Wyższe dźwięki zaznaczamy wyżej na pięciolinii.

34. Zieloną, niebieską, fioletową, a w końcu przestaniemy widzieć światło (dlaczego?).

10. Atomy i promieniowanie

1. **Wskazówka.** Większa długość fali to niższa częstotliwość i energia fotonu.

2. $E = hf = 1{,}6 \cdot 10^{-24}$ J

3. $n = 1{,}33 \cdot 10^{16}$. **Wskazówka.** Energia pojedynczego fotonu $E_f = \frac{hc}{\lambda}$

5. $f = \frac{c}{\lambda}$, $E = hf$, Energia zawiera się między 1,6 a 3,3 eV.

6. Energia fotonu $E_f = \frac{hc}{\lambda}$. Energia elektronu $E_e = E_f - W$ jest energią kinetyczną, a więc $v = \sqrt{\frac{2E_e}{m}} = 231 \frac{\text{km}}{\text{s}}$

7. myszy

8. A

9. dyfrakcja i interferencja

10. a) Słońce, b) lód, c) Słońce

11. **Wskazówka.** Im bardziej rozgrzane ciało, tym mniejsza jest długość fali maksimum jego promieniowania.

12. patrz zadanie 11.

13. rozszczepienie światła na kolory tęczy, opalanie

14. absorpcyjne: e; emisyjne: a, b, d; ciągłe: c

15. a) $6{,}17 \cdot 10^{14}$ Hz, b) 2,56 eV, c) fioletowy

16. B

18. D

19. $\lambda = \frac{hc}{E} = 91$ nm – daleki ultrafiolet

20. elektron uwolni się z atomu. Jego końcowa prędkość $v = \sqrt{\frac{2m}{E - E_j}} = 459 \frac{\text{km}}{\text{s}}$

21. C

22. chrom

23. nadal ruten

24. a) 65, b) 44, c) 10

25. tak, np. ${}^{14}_{6}\text{C}$ i ${}^{14}_{7}\text{N}$

26. alfa: C, F, G, H, I; beta: A, D, G, H, I

27. A

28. Energia fotonu światła widzialnego $E_f = 2{,}48$ eV, czyli jest ponad 600 tys. mniejsza od energii fotonu gamma.

30. prawdziwe: a, b; poprawione: c – Telefon komórkowy wysyła promieniowanie mikrofalowe, ale nie jest ono promieniowaniem jądrowym. d – Do połowy XIX w. człowiek nie wiedział o istnieniu izotopów promieniotwórczych.

32. Dawka pochłonięta w drodze na Marsa (300 mSv) jest od 60 do 375 razy większa niż otrzymana podczas tomografii głowy.

33. Musielibyśmy podróżować przez 125 lat.

11. Reakcje jądrowe: na Ziemi i w kosmosie

1. ${}^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb} + {}^{4}_{2}\text{He}$ powstaje jądro ołowiu-206

2. a) powstaje izotop helu ${}^{3}_{1}\text{H} \rightarrow {}^{3}_{2}\text{He} + \text{e}^{-}$

3. ksenon ${}^{131}_{54}\text{Xe}$

4. ${}^{147}_{61}\text{Pm}$ powstaje w rozpadzie alfa europu ${}^{151}_{63}\text{Eu}$

5. 230 lat to osiem okresów połowicznego rozpadu strontu-90, a więc w próbce zostanie $\left(\frac{1}{2}\right)^8$, czyli $\frac{1}{256}$ początkowej ilości pierwiastka, czyli 0,47 g strontu.

6. 0,8 kg

7. C

8. 0,84 mg

9. ok. 250 lat

10. $T = 140$ dni

11. ok. 4500 lat

12. Do roku 2027 spadnie do ok. 67% początkowej wartości.

14. technet ${}^{107}_{43}\text{Tc}$

16. $r = \sqrt[3]{\frac{3m}{4\pi d}} = 8{,}7$ cm, $r = 8{,}7$ cm

17. Udałoby się uniknąć ok. 4000 zgonów i ok. 38 000 chorób.

19. Do elektrowni jądrowej: pręty paliwowe, pręty regulacyjne oraz pojemnik na odpady promieniotwórcze.

20. b) 18,2 mln kg

22. 2,33 kg

23. dla $m = 60$ kg mamy $E = mc^2 = 5{,}4 \cdot 10^{18}$ J – tylko 20 razy mniej niż roczne światowe zużycie.

24. 186 mas Ziemi

25. B

26. deficyt masy $\Delta m = 8{,}53 \cdot 10^{-28}$ kg; $E_w = 8{,}53 \cdot 10^{-11}$ J, energia wiązania na nukleon: $1{,}37 \cdot 10^{-12}$ J

28. $E = 7{,}2 \cdot 10^{13}$ J

29. a) $\frac{p_S}{p_Z} = 1{,}97 \cdot 10^{11}$ – ciśnienie we wnętrzu Słońca jest prawie dwieście miliardów razy większe od ciśnienia na powierzchni Ziemi;
b) $m = 200\,000$ ton – duży statek kontenerowy

30. b) czarny karzeł, biały karzeł, żółta gwiazda, paląca wodór w jądrze, czerwona gwiazda, w której hel zmienia się w węgiel

31. ok. 1500 lat

32. na powierzchni białego karła około 2500 razy większe

33. E, C, B, D, A

35. $d = 4{,}46 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, tylko 1,58 razy większa od gęstości mgławicy Krab

36. $R_S = 2{,}96$ km

38. Dalej znajduje się szybciej oddalająca się galaktyka.

Literatura polecana

Nietypowe zadania i doświadczenia

Juliusz Domański, Józefina Turło, *Nieobliczeniowe zadania z fizyki*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1997.

Juliusz Domański, *Domowe zadania doświadczalne z fizyki*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1999.

Jan Gaj, *Laboratorium fizyczne w domu*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1982.

Związki fizyki z innymi dziedzinami nauki i techniki

Mieczysław Drobner*, Instrumentoznawstwo i akustyka*, Polskie Wydawnictwo Muzyczne, Kraków 1997.

Alyn C. Duxbury, Alison B. Duxbury, Keith A. Sverdrup, *Oceany świata*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.

Krzysztof Ernst, *Einstein na huśtawce, czyli fizyka zabaw, gier i zabawek*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2003.

Krzysztof Ernst, *Fizyka sportu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.

Robert Greenler, *Tęcze, glorie i halo, czyli niezwykłe zjawiska optyczne w atmosferze*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1998.

Marcin Popkiewicz, Aleksandra Kradaś, Szymon Malinowski, *Nauka o klimacie*, Wydawnictwo Nieoczywiste i Post Factum, Warszawa – Katowice 2019.

Knut Schmidt-Nielsen, *Dlaczego tak ważne są rozmiary zwierząt. Skalowanie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1994.

Knut Schmidt-Nielsen, *Fizjologia zwierząt*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.

Cathleen Shamieh, *Elektronika dla bystrzaków*, Septem, Gliwice 2020.

Konrad Widelski, *Spotkanie z elektroniką*, Wydawnictwa Kominikacji i Łączności, Warszawa 2001.

Astronomia

Andrzej Branicki, *Na własne oczy. O samodzielnych obserwacjach nieba i Ziemi*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.

Hannu Karttunen, Pekka Kröger, Heikki Oja i in., *Astronomia ogólna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2020.

Historia fizyki

Andrzej Drzewiński, Jacek Wojtkiewicz, *Opowieści z historii fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.

Andrzej Kajetan Wróblewski, *Prawda i mity w fizyce*, Iskry, Warszawa 1987.

Andrzej Kajetan Wróblewski, *Uczeni w anegdocie*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1999.

Andrzej Kajetan Wróblewski, *Historia fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.

Andrzej Kajetan Wróblewski, *Historia fizyki w Polsce*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2020.

Literatura popularnonaukowa

Brian Cox, Jeff Forshaw, *Dlaczego E = mc^2 (i dlaczego powinno nas to obchodzić)*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2013.

Brian Cox, Jeff Forshaw, *Kwantowy Wszechświat. Dlaczego zdarza się wszystko, co może się zdarzyć*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2014.

Andrzej Dragan, *Kwantechizm, czyli klatka na ludzi*, Fabuła Fraza, Warszawa 2019.

Michał Krupiński, *Ryzyk fizyk, czyli sens niepoważnych eksperymentów naukowych*, Feeria Science, Łódź 2018.

Zdjęcie na okładce: Shutterstock/socrates471.

Zdjęcia: Agencja Wyborcza.pl: Łukasz Nowaczyk s. 190; Archiwum Wydawnictwa s. 40 (doświadczenie); **BE&W:** Alamy Stock Photo – ajsissues s. 209, AllaBond s. 339 (tęcza na nizinie), Allan Hughes s. 268, Anna Kosolapova s. 132 (lustro weneckie), Archive PL s. 228 (widmo Słońca), Art Collection 2 s. 160 (Historia Noego – mozaika), Art Collection 3 s. 75 (Robert Hooke), Arty Om s. 255 (Ramsar), Bernardo Galmarini s. 6 (samolot), BSIP SA s. 165 (wirus grypy), s. 213 (wirus), BTEU/TEKNISKA s. 31 (maszyna słoneczna), Cavan Images s. 168 (mężczyzna w słuchawkach), Chris Dorney s. 86, Chris Robbins s. 128 (gwizdek na psa), Christian Offenberg s. 327, lassic Image s. 173 (François Arago), Colin Palmer Photography s. 95 (The Albert Bridge), Connect Images s. 151 (diament) Cornel Stefan Achirei s. 6 (silnik motocykla), david hancock s. 97, Dennis Hallinan s. 313 (Galaktyka Andromeda), Dmytro Olegovich Zakharchuk s. 310 – 311 (obłok gazowy), EThamPhoto s. 140 (laser), GL Archive s. 315 (antena), Grant Rooney Premium s. 92 (most), s. 94 (amortyzator w moście), Historic Images s. 292 (Ernest Rutheford), IanDagnall Computing s. 250 (Maria Skłodowska-Curie), Icom Images s. 191 (Christophorus Buys-Ballot), Jelena Maximova s. 100, Konrad Zelazowski s. 58, LightField Studios Inc. s. 185 (mężczyzna w okularach), Maximilian Weinzierl s. 147, NB/USC s. 151 (marynarze na statku), s. 346, Olena Vasylieva s. 77 (metronom), PA Images s. 241 (Ernest Rutherford), Paul Carstairs s. 95 (The Albert Bridge – tablica), Pictorial Press Ltd s. 173 (Siméon Poisson), s. 205, Prisma Archivo s. 160 (Sąd Ostateczny – obraz), s. 278, rasoul ali s. 253 (Ramsar), Realimage s. 288, Rob Draper s. 341, Rob Walls s. 222 (żelazko), Science History Images s. 218, 284, The History Collection s. 253 (balon Hessa), s. 292 (Frederick Soddy), Zoonar GmbH s. 310 (supernowa), Zuri Swimmer s. 231 (Joseph Fraunhofer), Avalon/George Bernard s. 179 (zbliżenie na skrzydło motyla), BSIP RM/ Astier – Chru Lille s. 254 (nóż gamma), IMAGNO s. 191 (Christian Doppler), Science Source – Charles D. Winters s. 206 (fotokomórka próżniowa), GIPhotostock s. 206 (fotodioda), s. 229 (widmo świetlówki), Omikron s. 214 (obraz interferencyjny), ULLSTEINBILD Axel Springer Syndication GmbH/histopics s. 250 (Henri Becquerel), Werner Forman Archive s. 279; **East News:** AFP/Toru Yamanaka s. 107 (tsunami), Bartosz Krupa s. 285, REPORTER – L3484:N3485 s. 12 (temperatura nawierzchni), Lech Gawuc s. 276 (reaktor Maria), Witold Jaroslaw Szulecki s. 57; **Forum:** Caters News s. 157, EFE/ Jaume Sellart s. 282, Jacek Szydlowski s. 12 (Sławosz Uznański), Reuters/ Cris Mattos s. 273 (rzut monetą), Robert Gardzinski s. 309 (Aleksander Wolszczan), Romuald Broniarek s. 135 (maszt w Konstantynowie); **Getty Images:** 500px Prime/Laurens Kaldeway s. 34, Bettmann s. 271, Bloomberg Creative Photos s. 222 (rozgrzane żelazo), Connect Images – Gregory S. Paulson s. 176, Joseph Giacomin s. 126 (garnek w termowizji), Yew! Images s. 102, Corbis Documentary/Walter Geiersperger s. 280, Corbis Historical/Fine Art. s. 160 (Pora deszczowa w tropikach – obraz), Corbis/Mikael Vaisanen s. 128 (kontrabasista), Cultura/REB Images s. 121 (zdjęcie rengenowskie), DigitalVision/Morsa Images s. 141, E+ – chinaphotographer s. 120 (człowiek w kombinezonie), Courtney Hale s. 222 (pomiar temperatury), dra_schwartz s. 121 (materiał radioaktywny), fotolinchen s. 286 – 287 (trawa), georgeclerk s. 286 – 287 (gleba), Ignatiev s. 229 (kryminalistyka), MelkiNimages s. 81 (hustawka), Michael Zeigler s. 339 (oko Snelliusa), pjohnson1 s. 347 (kapusta), rzelich s. 17 (termometr), SeppFriedhuber s. 299, sololos s. 223 (gwiazda), Getty Images Plus/PHOTOS.com>> s. 231 (spektrum Słońca), Getty Images Sport/Handout s. 41, Hulton Archive/ Heritage Images s. 292 (alchemik), imageBROKER/Arnulf Hettrich s. 224, iStock/Getty Images Plus – 4uves s. 175 (paw), abadonian s. 255 (elektrownia), brizmaker s. 30, Cebas s. 151 (zjeżdżalnia), CreativeNature_nl s. 216, demaerre s. 167, donstock s. 67, dzika_ mrowka s. 306, Elen11 s. 142, EyeEm Mobile GmbH s. 316 (radioteleskop), Garetsworkshop s. 115, Guy Pendlebury s. 75 (pomnik pożaru Londynu), Jon Farmer s. 255 (łąka), Jose Pouwels s. 35 (szadź), KangeStudio s. 28 (solary na dachu), karandaev s. 36 (szklanka), Kilav s. 23, koto_feja s. 290, kynny s. 149 (światłowód), Luisa Vallon Fumi s. 231 (spektroskop), mediaphotos s. 263 (ciemnia), mr. suphachai praserdumrongchai s. 189, NANCY PAUWELS s. 47, Panmaule s. 107 (tratwa), photosaint s. 266, sanjagrujic s. 45, scanrail s. 18, SHSPhotography s. 180 (halo wokół księżyca), stockdevil s. 255 (tomografia), studiodav s. 144 (laser), therry s. 324, Travel Trend s. 116, Tunatura s. 44 (pustynia w dzień), vovashevchuk s. 22 (przewody energetyczne), Wavebreakmedia s. 87, Wirestock s. 36 (krokusy), yacobchuk s. 162 (ludzie po dwóch stronach filaru), Kyodo News s. 328, Moment Open – Floridapfe from S.Korea Kim in cherl s. 12 (fenki), Giovani Cordioli s. 131, Moment – ©Marco Bottigelli s. 208, Alexander Spatari s. 184 (smartfon ze zdjęciem), Anton Petrus s. 155 (podwójna tęcza), Elena Popova s. 136 – 137 (biurowiec), Faba-Photograhpy s. 249 (czujnik dymu), Haitong Yu s. 9, Irena Sowinska s. 71 (kieliszek), Jasius s. 179 (motyl), KEHAN CHEN s. 286 – 287 (łąka), KMike Danneman s. 289, Maya Karkalicheva s. 178-179 (widmo Brockenu), s. 340, Pakin Songmor s. 223 (gwiazdy w tle), PA Images/Gareth Fuller – PA Images s. 180 (wieniec wokół księżyca), Photodisc/Ozgur Donmaz s. 108, Science Photo Library – Mark Garlick s. 307, 310 (Czarna Dziura), s. 311 (Czerwony Olbrzym), Ozgur Kerem Bulur s. 179 (chrząszcz), SCIEPRO s. 13 (Słońce i Ziemia), Wladimir Bulgar s. 37 (kryształ), SSPL/Science & Society Picture Library s. 75 (obraz spod mikroskopu Hooka, mikroskop Hooka), s. 213 (Louis Victor de Broglie), Stockbyte – Maria Toutoudaki s. 347 (piteczka), Tom Brakefield s. 99 (wybrzeże), Stocktrek Images s. 255 (Ziemia), The Image Bank – Martin Harvey s. 139 (zachód słońca), Yiu Yu Hoi s. 120 (zdjęcie smartfonem), The Image Bank Unreleased/Tim Wright s. 286 (reactor), ullstein bild Dtl. S. 225 (Max Planck z Einsteinem), View Stock s. 137 (narciarze); Indigo: Alamy Stock Photo – Abaca Press s. 291, BSIP SA s. 297, Pictorial Press Ltd s. 250 (Piotr Curie), Mary Evans Picture Library Ltd/Mary Evans/AF Archive/Paramount s. 140 (kadr z filmu), Photo12/ Collection Bernard Crochet s. 166 (radar), Science Photo Library s. 293, Alfred Pasieka s. 298 (bakteria), Eye of Science s. 179 (perła pod mikroskopem), Ianck Collaboration/European Space Agency s. 315 (mikrofalowe promieniowanie tła), s. 318 (mikrofalowe promieniowanie tła), Public Health England s. 249 (rentgen), Steve Gschmeissner s. 217 (mrówka SEM), University of Birmingham/ Goronwy Tudor Jones s. 245, Superstock s. 231 (spektrum Słońca); **Shutterstock:** 3Dalia s. 177 (bąbelki powietrza), A_Dozmorov s. 277, Alexander Tolstykh s. 46 (dąb), alexroch s. 179 (paw), All-stock-photos s. 166 (nietoperz), Allexxandar s. 152-153 (morskie dno), Ametist_Studio s. 177 (liść), Anan Kaewkhammul s. 112 (płomykówka), Andrew Angelov s. 95 (poziomowanie pralki), Andrew Mayovskyy s. 241 (turysta w górach), Andrey_Popov s. 49 (otwieranie okna), Anton Leonchikov s. 238, Artsiom P s. 303, AstroStar s. 31 (Biały Karzeł), Asura senpai s. 184 (pszczoły), Avocado_studio s. 13 (czajnik), AVS-Images s. 138 (wi-fi symbole), BankBever s. 200 (gwiazda neutronowa), bdavid32 s. 66 (staw), BEST-BACKGROUNDS s. 232, Bilanol s. 22 (kaloryfer i klimatyzator), Black Creator 24 s. 112 (człowiek – ikonka), Blan-k s. 254 (pranie), BlueRingMedia s. 317 (gwiazdy), bodnar.photo s. 81 (licealista z telefonem), BOONCHUAY PROMJIAM s. 113 (nietoperz), Brent Hofacker s. 252, CeltStudio s. 56 (chmury nad oceanem), Cezar911 s. 254 (prysznic), Chalie Chulapornsiri s. 94 (obraz głowy z badania rezonansem jądrowym), ChameleonsEye s. 179 (perła), Choksawatdikorn s. 200, Connect Images – Curated s. 217 (mikroskop), Corepics VOF s. 227 (lawa), David Gonzalez Rebollo s. 98 (falochron), David Hajnal s. 343 (gwiazda Albireo), Davizro Photography s. 215 (ping-pong), Designua s. 323, Desizned s. 95 (rozbijanie kamieni nerkowych), Djomas s. 186 (kobieta), Dmitrijs Bindemanis s. 234 (ulica z lampami), Dmitry Demkin s. 331 (rzeka), Dragana Gordic s. 42 (zraszanie rośliny), dugdax s. 44 (las w nocy), Ekaterina43 s. 347 (kulka), Elnur s. 72, Evgeny_V s. 348, FabrikaSimf s. 51, Fahroni s. 49 (budynek w zieleni), Fly_and_Dive s. 31 (elektrownia słoneczna), Flystock s. 55 (zniszczona rafa koralowa), fotosenukas s. 37 (żarówka), Fotosoroka s. 24 (obrączka), s. 27 (obrączka), galsand s. 13 (kubek w śniegu), Gen_Shtab s. 60, glyph s. 112 (słoń, wieloryb – ikonki), s. 113 (delfin, nietoperz – ikonki), Ground Picture s. 43 (sportowiec), Hadrian s. 226 (żarówka), Halk-44 s. 217 (rzut kostką), Haoka s. 198 (latarka), iconation s. 254 (post), Igor Sokolov (breeze) s. 81 (metronom), Imageologist s. 40 (pasteryzowanie słoika), IndiaPix on OFFSET s. 96 (Sitar), Irina Bobreshova s. 82 (bungee fitness), It_is s. 273 (kostki), iyks s. 32 (panele fotowoltaiczne), Jezper s. 240 (diament), jksz. photography s. 240, JordiDelgado s. 145 (załamanie fal), K-FK s. 11 (garnek), karpenko_ilia s. 113 (kot, pies, mysz – ikonki), Kateryna_

Moroz s. 298 (królik), Khorzhevska s. 295, Kitreel s. 95 (kontrabasista), kostasgr s. 32 (kolektor słoneczny), Krzysztof Bubel s. 27 (1PLN), Ladanifer s. 11 (pocieranie rąk), legenda s. 105, Ljupco Smokovski s. 110 (chłopak z gitarą), lorenza62 s. 281, Luc Pouliot s. 140 (litera), Luis Molinero s. 110 (dziewczyna), Madlen s. 24 (śruba), marketlan s. 19 (opiekacz), Mary_Morgan s. 318-319 (woda, bąbelki w tle), Marzolino s. 148 (polowanie na ryby), Mateusz Lopuszynski s. 33, max dallocco s. 52 (Ziemia), Maxx-Studio s. 186 (ambulans), Metallic Citizen s. 262, michelangeloop s. 5, Miguel Ameller s. 227 (podkowa), Mike Mareen s. 333, Mikhail Starodubov s. 247 (schron), Monkey Business Images s. 94 (hustawka), Mr.PK s. 202, Mulevich s. 52 (szklarnia), muratart s. 56 (śnieg i lód), MyCreative s. 286 - 287 (panorama), NASA Images s. 309 (Mgławica Krab, Mgławica Orzeł), Natali Eina s. 165 (samochody), Natalia Gavrilova s. 56 (zmarzlina), Nikki Zalewski s. 339 (fragment tęczy), nikkytok s. 165 (laser), nortongo s. 27 (kostka lodu), objectsforall s. 37 (podkowa), Olena Serzhanova s. 66 (pies), Olena Znak s. 35 (szron), Olesia Bilkei s. 201, Olezzo s. 49 (zasłanianie rolet), olrat s. 168 (głośniki nad rzutnikiem), pashtetio s. 178 (wieniec wokół księżyca), PedroNevesDesign s. 254 (przysłoń usta i nos), PeopleImages.com – Yuri A s. 107 (gimnastyczka), Piotr Jurek s. 339 (halo wokół słońca), Pitak Areekul s. 188 (głośniki alarmowe), Pixel B s. 53 (laser), Pixel-Shot s. 43 (czajnik), pongwan sukpoka s. 178 (iryzacja chmur), posteriori s. 44 (pustynia w nocy), posztos s. 234 (fajerwerki), Prostock-studio s. 199, Pukao s. 177 (borówka), ra2 studio s. 196 (nauczyciel geografii), Remigiusz Gora s. 37 (rtęć), Roman Mikhailiuk s. 339 (tęcza w górach), RossHelen s. 49 (wyciąg nad kuchenką), S.Borisov s. 121 (podwójna tęcza), Sanjeev kumar Kushwaha s. 179 (zbliżenie na pióro pawia), Serenko Natalia s. 181, showcake s. 39, SmirkDingo s. 317 (atom), smspsy s. 42 (rozbijanie lodu), Snufkin_79 s. 44 (las w dzień), socrates471 s. 329, solarseven s. 223 (Słońce), spoialabrothers s. 220 (ludzie przy ognisku), Stenko Vlad s. 48, StockLite s. 251, SvetaZi s. 71 (głośniki), Svetlana Orusova s. 331 (jezioro), Svetsol s. 112 (sowa – ikonka), Tamara Kulikova s. 247 (banany), Tetsuo Arada s. 165 (delfiny), The_Molostock s. 120 (radio w samochodzie), THINK A s. 24 (asfalt), Tunatura s. 55 (koralowce), Underawesternsky s. 37 (świeczka), Uwe Michael Neumann s. 180 (iryzacja chmur), Vadim Sadovski s. 310 – 311 (gwiazdy w tle), Valya Saveleva s. 113 (delfin), vgstudio s. 186 (mężczyzna), vivooo s. 16 (most), vvoe s. 212, WH_Pics s. 14, Whitevector s. 188 (samochód), xfox01 s. 223 (Słońce), yanikap s. 338; **Thinkstock/Getty Images:** iStockphoto/heibaihui s. 159; **Wikipedia:** Wikimedia Commons – Alchemist-hp (talk) (www.pse-mendelejew.de) s. 246, Sébastien R. Mouchet s. 179 (zbliżenie na pancerz chrząszcza), Sense Jan van der Molen (Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license) s. 191 (mural w Utrechcie); **ESA**/Hubble, M. Kornmesser s. 223 (Gwiazda Niebieski Olbrzym); **European Southern Observatory** (ESO) s. 233 (Mgławica Mewa); Hitachi Research Center s. 215 (tworzenie obrazu interferencyjnego przez elektrony); **www.inspekcjadomu.pl** s. 220 (termowizyjny obraz budynku); **NASA:** s. 222 (Słońce), s. 255 (astronauta), s. 311 (Czarny Karzeł); NASA/Goddard/S. Wiessinger s. 263 (planeta pozasłoneczna); NASA, ESA, CSA, and STScI s. 265; NASA/ESA/STScI s. 305; NASA/CXC/SAO s. 308 (Cassiopeia A); NASA, ESA, CSA, STScI; J. DePasquale, A. Koekemoer, A. Pagan (STScI) s. 308 (Mgławica Orzeł); NASA/ESA/H. Bond (STScI) and M. Barstow (Univ. Leicester) s. 308 (Syriusz A i Syriusz B); NASA/CXC/M.Weiss s. 312; NASA, ESA, HFF Team, Jennifer Lotz (STScI), Matt Mountain (STScI), Anton Koekemoer (STScI) s. 313 (Wszechświat); NASA, ESA, CSA, Northrop Grumman s. 316 (teleskop Webba); NASA, ESA, CSA, Ralf Crawford (STScI); Science: Lamiya Mowla (Wellesley College), Guillaume Desprez (Saint Mary's University) s. 316 (Galaktyka Firefly Sparkle); NASA/JPL-Caltech s. 347 (Voyager); **www.nature.com**/scientificreports/18.07.2019, Amir H. Tavabi 1, Chris B. Boothroyd1,2, Emrah Yücelen3, Stefano Frabboni4,5, Gian Carlo Gazzadi5, Rafal E. Dunin-Borkowski 1 & Giulio Pozzi1, s. 214 (obraz interferencyjny z doświadczenia Younga dla elektronów); **NRC** (Information generated by the NRC or developed under an NRC contract is not copyrighted, unless indicated otherwise. Non-copyrighted material can be reproduced without permission; citation of the NRC as the source of the information is appreciated. Permission to reproduce any copyrighted material (including photos or graphics) must be obtained from the original source.) s. 294 (paliwo jądrowe); **Technical World magazine**, September 1907 s. 31 (prototyp pompującego systemu Shuman opartego na energii słonecznej ORC zainstalowany w Filadelfii); **www.universetoday.com**/Credit: dpg-physik.de (Deutsche Physikalische Gesellschaft) s. 225 (medal Plancka); **Volker Gaibler**/HITS, SDSS, ESO (Creative Commons Attribution 4.0 International License) s. 314 (widmo); Pan Tompkins w Krainie Czarów, Prószyński i Spółka, Warszawa 1995, s. 111–112, s. 343 (cytat); **Miłosz Budzyński** s. 13 (doświadczenie), s. 15 (doświadczenie), s. 16 (doświadczenie), s. 17 (doświadczenie), s. 19 (doświadczenie), s. 22 (doświadczenie), s. 28 (doświadczenie), s. 35 (doświadczenie), s. 38, 46 (doświadczenie), s. 62, 70, 73, 76, 77 (doświadczenie), s. 78, 82 (doświadczenie), s. 85, 117, 130, 135 (doświadczenie), s. 138 (doświadczenie), s. 139 (doświadczenie), s. 144 (doświadczenie), s. 145 (doświadczenie), s. 148 (doświadczenie), s. 149 (doświadczenie), s. 154, 161, 162 (doświadczenie), s. 164, 170, 175 (doświadczenie), s. 180 (doświadczenie), s. 183, 184 (doświadczenie), s. 185 (doświadczenie), s. 203, 221, 228 (doświadczenie), s. 233 (doświadczenie), s. 248, 332; **Marcin Braun** s. 15 (termometry), s. 46 (termometry bezprzewodowe), s. 53 (termometr bezprzewodowy), s. 331 (kot, przejście dla pieszych); **Anna Budzyńska** s. 8, 29, 92 (doświadczenie), s. 93, 96 (gryf gitary), s. 122, 126 (doświadczenie), s. 146, 196 (szklanka), s. 253 (substancje promieniotwórcze), s. 254 (gamma kamera), s. 274, 314 (doświadczenie); **Maciej Wróbel** s. 103, 195; **Agnieszka Żak** s. 98 (doświadczenie), s. 99 (doświadczenie), s. 132 (doświadczenie), s. 155 (doświadczenie).
Obrazy wygenerowane przez AI (Adobe firefly) s. 49 (otwarte okno nocą), s. 136–137 (niebo), s. 255 (popielniczka), s. 276 (tablica z nazwami pierwiastków C i N).

Ilustracje: Ewelina Baran – s. 18d, **Elżbieta Buczkowska** – s. 341, 353g, **Rafał Buczkowski** – s. 214g, 243–244 i 259 (kulki 3D), 268, 269d, 283g, 290 i 300 (kulki 3D), 322 i 323g (kulki 3D), 347, **Zuzanna Dudzic** – s. 53ś, **Andrzej Dukata** – s. 34, 48p, 59, 64, 74, 76p, 78g, 79–81, 87–89, 93, 100, 101, 109, 110ś, 118, 123g, 127, 128p, 129, 133pd, 135, 140, 141, 146–149, 164, 166, 174p, 182, 183, 187, 189, 193ś, 194g, 195, 198, 236g, 237ś,d, 238, 331l, 334, 335, 336l, 339, 340, 346, **Georg Gamow** – s. 343, **Paulina Jarmusik** – s. 55ś, 119, 157ś, 158g (postaci), 161, 188g (karetka), 242g, 248, 312, 320, 353d, **Klaudia Jarocka-Ciok** – s. 249, 260, **Adam Król** – s. 20–21 (render 3D), **Laura Maziewska** – s. 136, **Marek Nawrocki** – s. 318–319, **Nikola Pelcer** – s. 99g, 154, 174ś, **Paulina Podolska** – s. 55g, 205d, **Joanna Ptak** – s. 14, 53 (Słońce), 53d, 65, 76l, 78ś, 86 i 123d (sprężyna), 128 (sprężyna), 134 (żarówka) , 177g (oko), 188g, 203, 209 (ładunki), 236d (oko), 239, 257 (ładunki), 258ś, 296d (ładunki), 304g, **Marcin Ptak** – s. 14 (palec), 18ś, 20–21, 23, 24, 26, 27, 40, 51, 60, 62, 68, 69p, 70, 72, 83, 84, 99 (palec), 103d, 104, 106, 111g, 115, 137p, 138g, 167, 174l, 174pś, 176, 177, 185, 197, 224, 232d, 236d, 239l, 271, 275, 279, 289, 296d (układ), 304g,ś, 305, 307, 315 (legenda), 331p, **Wojciech Sendal** – s. 50, 286–287, **Ewa Sowulewska** – s. 7, 8, 17, 18 (palnik, lód), 23 (termometr), 34, 36, 53d, 55, 63–65, 69l, 85, 86, 97, 109g, 110d, 123d, 124, 125, 128l, 133ld, 134, 138d, 142–143, 150, 151, 155–159, 161, 163, 169–172, 176 (płyta), 181, 189, 193d, 194ś, 203–207, 209–211, 227, 230, 235, 236d (głowa), 237g, 239p (dłoń), 242d, 243, 244, 246, 248, 251, 257–259, 264, 269g, 270, 274, 278, 279 (drzewo), 280, 283d, 284, 290, 291, 296ś, 299, 300, 302, 303, 304d, 321, 322d, 323g, 336p, 337, 338, 341 (nuty), 343, 344, 350, 352, **Justyna Studzyńska** – s. 48l, 133g, **Archiwum Nowej Ery** – s. 190.

Wydawnictwo Nowa Era oświadcza, że podjęło starania mające na celu dotarcie do właścicieli i dysponentów praw autorskich wszystkich zamieszczonych utworów. Wydawnictwo Nowa Era, przytaczając w celach dydaktycznych utwory lub fragmenty, postępuje zgodnie z art. 27^1 ust. 1 ustawy o prawie autorskim. Jednocześnie Nowa Era oświadcza, że jest jedynym podmiotem właściwym do kontaktu autorów tych utworów lub innych podmiotów uprawnionych w przypadkach, w których twórcy przysługuje prawo do wynagrodzenia.

nowa era *Twoje mocne strony*

NOWE
Odkryć fizykę

Za co polubisz podręcznik *NOWE Odkryć fizykę 3*?



Powód 1

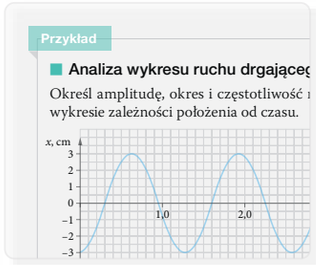
Jest tu dokładnie tyle treści, ile trzeba, nie ma nadmiaru. Ten podręcznik jest w pełni dostosowany, co oznacza, że wycięliśmy z niego to, co od roku 2024 nie jest już wymagane.

ZMIANY W PODSTAWACH 2024
podręcznik w pełni dostosowany



Powód 2

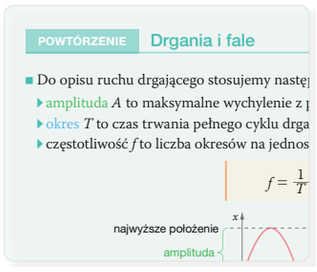
Dużo przykładów rozwiązanych zadań. Czy to przydatne? Tak. Łatwiej poradzisz sobie z samodzielnym rozwiązaniem podobnych zadań.





Powód 3

Podsumowania po tematach i testy po każdym dziale. Wiesz, czego się nauczyć na kartkówkę i sprawdzian. Łatwo możesz sobie przypomnieć i przećwiczyć to, co najważniejsze.



Nowa Era Sp. z o.o.
www.nowaera.pl nowaera@nowaera.pl
Centrum Kontaktu: 58 721 48 00

ISBN 978-83-267-5385-5
9 788326 753855