

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$$

F

IZYKA

$$\vec{v} = \vec{v}_0$$

9

$$F_A = BIl \sin \alpha$$

$$F = G \frac{m}{r^2}$$

KLASA

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$$



$$\vec{F} = \frac{\vec{F}}{m}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$s = \frac{c \cdot t}{2}$$

INSTRUKCJA TECHNIKI BEZPIECZEŃSTWA W PRACOWNI FIZYKI

1 — Ogólne zasady

- 1.1. W pracowni fizycznej uczniowie powinni przestrzegać zasad bezpieczeństwa i zasad wewnętrznego trybu pracy szkoły, ustalone normy oraz tryb pracy i odpoczynku.
- 1.2. Uczniowie mogą znajdować się w gabinecie fizyki tylko w obecności nauczyciela lub laboranta.
- 1.3. O każdym wypadku, który zaistniał podczas zajęć fizycznych należy natychmiast poinformować nauczyciela.
- 1.4. O usterkach w przyrządach fizycznych należy natychmiast poinformować nauczyciela.

2 — Zasady bezpieczeństwa w ekstremalnych sytuacjach

- 2.1. W wypadku uszkodzenia, złego samopoczucia i t.p. należy natychmiast informować nauczyciela.
- 2.2. W wypadku nieprzewidzianego zapalania się, pożaru i t.p. należy terminowo poinformować nauczyciela.
- 2.3. W wypadku ewakuacji należy dokładnie wykonywać wskazówki nauczyciela.

3 — Zasady bezpieczeństwa przed rozpoczęciem pracy

- 3.1. Dokładnie ustal kolejność i zasady bezpieczeństwa podczas wykonywania doświadczeń.
- 3.2. Uporządkuj swoje miejsce pracy; sprzątnij wszystkie zbędne rzeczy.
- 3.3. Sprawdź obecność i bezpieczeństwo łączących przewodów, przyrządów i innych przedmiotów niezbędnych dla wykonania zadania.
- 3.4. Zaczynaj wykonanie pracy tylko z pozwolenia nauczyciela.
- 3.5. Wykonuj tylko te zadania, które przewiduje praca lub proponuje nauczyciel.

4 — Zasady bezpieczeństwa podczas wykonywania pracy

- 4.1. Pracuj tylko na swoim miejscu.
- 4.2. Bądź uważny i zdyscyplinowany, dokładnie wykonuj polecenia nauczyciela.
- 4.3. Rozmieszczaj przyrządy, materiały i narzędzia w taki sposób, żeby zapobiec ich padaniu lub przewracaniu się.
- 4.4. Podczas doświadczeń unikaj obciążeń mierników.
- 4.5. Obserwuj za stanem wszystkich połączeń w przyrządach i urządzeniach. Nie dotykaj obrotowych części mechanizmów i nie nachylaj się nad nimi.
- 4.6. Dla montowania eksperymentalnych urządzeń wykorzystuj przewodniki z zaciskami, bezpieczną izolacją i bez uszkodzeń.

- 4.7. Nie włączaj urządzeń elektryczne bez pozwolenia nauczyciela; nie naprawiaj samodzielnie sieć elektryczną i urządzenia elektryczne.
- 4.8. Montując obwód elektryczny nie dopuszczaj przecinania się przewodów; zabrania się wykorzystywać przewodniki ze zniszczoną izolacją i otwartymi wyłącznikami..
- 4.9. Źródło prądu włączaj w obwód elektryczny w ostatniej kolejności. Zmontowany obwód zamykaj tylko po sprawdzeniu przez nauczyciela i z jego pozwolenia. Obecność napięcia w obwodzie sprawdzaj tylko za pomocą przyrządów lub wskaźników napięcia.
- 4.10. Nie dotykaj do części obwodu bez izolacji i pod napięciem. Nie wykonuj powtórnych połączeń w obwodach i nie zamieniaj bezpieczników przy włączonych źródłach zasilania.
- 4.11. Stosuj narzędzia z izolowanymi rękojeściami.
- 4.12. Nie zostawiaj miejsce pracy bez pozwolenia nauczyciela.
- 4.13. Gdy zauważysz polamany przyrząd, który znajduje się pod napięciem, natychmiast wyłącz źródło zasilania i informuj o tym nauczyciela.
- 4.14. Dla łączenia odbiorników do sieci stosuj łączenia gniazdkowe.

5 — 5. Zasady bezpieczeństwa po zakończeniu pracy

- 5.1. Po zakończeniu pracy obowiązkowo sprzątnij na swoim miejscu. Sprzątanie wykonuj tylko z pozwolenia nauczyciela.
- 5.2. Obwód elektryczny demontuj tylko po wyłączeniu źródła zasilania.

CO NALEŻY WIEDZIEĆ

O zjawisku fizyczny

- 1) zewnętrzne cechy zjawiska, warunki, przy których ono odbywa się ;
- 2) związek danego zjawiska z innym;
- 3) wielkości fizyczne charakteryzujące zjawisko;
- 4) możliwości praktycznego zastosowania, sposoby przewidywania szkodliwych skutków zjawiska

O fizycznym prawie

- 1) formułowania, związek między którymi zjawiskami ustala dane prawo;
- 2) wyrażenie matematyczne;
- 3) doświadczenia, które doprowadziły do odkrycia prawa lub potwierdziły jego prawidłowość;
- 4) granice zastosowania

O przyrządzie lub urządzeniu

- 1) przyznanie;
- 2) budowa;
- 3) zasada działania;
- 4) dziedziny zastosowania i zasady wykorzystania;
- 5) zalety i wady

O wielkości fizycznej

- 1) symbol oznaczenia;
- 2) właściwość, którą charakteryzuje dana wielkość fizyczna;
- 3) określenie (definicja);
- 4) wzór, który jest podstawą określenia, związek z innymi wielkościami fizycznymi;
- 5) jednostki;
- 6) sposoby mierzenia

FIZYKA

9

KLASA

Podręcznik dla klasy 9.
szkół ogólnokształcących
z polskim językiem nauczania

Pod redakcją W. Barjachtara, S. Dowhoho

Zalecany przez Ministerstwo Oświaty i Nauki Ukrainy

Львів
Видавництво „Світ”
2017

УДК [37.016:53](075.3)
Ф50

Перекладено за виданням:

Фізика : підруч. для 9 кл. загальноосвіт. навч. закл. / [В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова, О. О. Кірюхіна] ; за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого. – Харків : Вид-во “Ранок”, 2017.

Авторський колектив:

В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова, О. О. Кірюхіна

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ Міністерства освіти і науки України від 20.03.2017 № 417)

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Експерти, які здійснювали експертизу даного підручника під час проведення конкурсного відбору проєктів підручників для 9 класу загальноосвітніх навчальних закладів і зробили висновок про доцільність надання підручнику грифа „Рекомендовано Міністерством освіти і науки України”:

А. В. Королишин, кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри фізики металів фізичного факультету

Львівського національного університету імені Івана Франка;
Т. М. Левицька, вчитель-методист, завідувач міським методичним кабінетом
Управління освіти Ніжинської міської ради;

С. М. Совгира, вчитель-методист, учитель Черкаської спеціалізованої
школи I–III ступенів № 33 імені Василя Симоненка

Рецензент:

І. М. Гельфгат, кандидат фізико-математичних наук, учитель-методист,
Заслужений учитель України, учитель фізики комунального закладу
„Харківський фізико-математичний лицей № 27”

Автори й видавництво висловлюють щирю подяку:

М. М. Кірюхіну, кандидату фізико-математичних наук,
президенту Співки наукових і інженерних об'єднань України;

І. Ю. Ненашеву, учителю-методисту, Заслуженому вчителю України;

І. В. Хован, кандидату педагогічних наук, учителю фізики НВК „Домінанта”,
за слухні зауваження й конструктивні поради;

І. С. Чернецькому, кандидату педагогічних наук,
завідувачу відділу створення навчально-тематичних систем знань
Національного центру „Мала академія наук України”,

за створення відеороликів демонстраційних і фронтальних експериментів

*Методичний апарат підручника успішно пройшов експериментальну перевірку
в Національному центрі „Мала академія наук України”*

Ілюстрації художника *Володимира Хорошенка*

Фізика : підруч. для 9 кл. загальноосвіт. навч. закл. з навч.
Ф50 польською мовою / [В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова,
О. О. Кірюхіна] ; за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого ; пер.
І. Г. Середа, Е.В. Іваницька. – Львів : Світ, 2017. – 272 с. : іл., фот.

ISBN 978-966-914-078-4

УДК [37.016:53](075.3)

© Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О., Божинова Ф. Я.,
Кірюхіна О. О., 2017

© Хорошенко В. Д., ілюстрації, 2017

© ТОВ Видавництво „Ранок”, 2017

© Середа І.Г., Іваницька Е.В., переклад польською
мовою, 2017

ISBN 978-966-914-078-4 (польськ.)

ISBN 978-617-09-3356-0 (укр.)

Drodzy przyjaciele!

W tym roku szkolnym będziecie kontynuować podróż przez świat fizyki. Tak jak poprzednio, będziecie obserwować zjawiska przyrody, będziecie przeprowadzać prawdziwe naukowe doświadczenia i na każdej lekcji robić własne małe odkrycia.

Żadna prawdziwa podróż nie jest łatwa, jednak ileż nowego dowiecie się o otaczającym was świecie! A podręcznik, który trzymacie w ręku, będzie służył pomocą.

Badając treść każdego paragrafu, bądźcie uważni i staranni, wtedy będziecie mogli zrozumieć sens badanego materiału i będziecie mogli zastosowywać otrzymaną wiedzę w życiu codziennym.


Zwróćcie uwagę na to, że paragrafy kończą się punktami: „*Podsumowanie*”, „*Pytania kontrolne*”, „*Ćwiczenia*”. Po co są one potrzebne i jak lepiej z nimi pracować?

W punkcie „*Podsumowanie*” zawarta jest informacja o głównych pojęciach i zjawiskach, z którymi zapoznaliście się w paragrafie. Macie zatem możliwość zwrócić uwagę na najważniejsze.

„*Pytania kontrolne*” pomogą wyjaśnić, na ile zrozumieliście wyuczony materiał. Jeżeli możecie odpowiedzieć na każde pytanie – to wszystko dobrze, jeżeli nie – czytajcie paragraf ponownie.

Punkt „*Ćwiczenia*” urozmaici waszą podróż po świecie fizyki, zrobi ją bardziej ciekawą, ponieważ będziecie mogli zastosować otrzymaną wiedzę na praktyce. Zadania tego punktu są podzielone według poziomów – od najprostszych, wymagających tylko uwagi, do twórczych, rozwiązując które należy wykazać swoją wiedzę i staranność. Numer każdego zadania posiada swój kolor (w zależności od złożoności zadania: niebieski, zielony, pomarańczowy, czerwony, fioletowy).

Wśród zadań są takie, za pomocą których powtarzamy materiał, wyuczony przez was na lekcjach przyrody, matematyki lub poprzednich lekcjach fizyki.

Zwróćcie uwagę na to, że w podręczniku jest materiał ograniczony oznaczeniami () – przeznaczony dla dociekliwych.

Wiele ciekawego znajdziecie w Internecie pod hasłem „Nauczanie interaktywne” (interactive.ranok.com.ua). Są to filmy, które ilustrują różne fizyczne doświadczenia lub procesy; informacja, która pomoże wam rozwiązywać zadania; testowe zadania ze sprawdzaniem komputerowym.

Fizyka jest przede wszystkim eksperymentalną nauką. Dlatego w podręczniku są *doświadczenia* i *prace laboratoryjne*. Koniecznie należy je wykonywać, wtedy będziecie lepiej rozumieć i lubić fizykę. Radzimy opracowywać zadania „z gwiazdką”, dzięki którym nauczycie się podawać wyniki doświadczeń tak, jak to robią prawdziwi uczeni.

Materiały, zaproponowane na końcu każdego rozdziału w punktach „Podsumowanie rozdziału” i „Zadania”, pomogą wam usystematyzować otrzymaną wiedzę, będą przyteczne podczas powtórzenia materiału i w trakcie przygotowania się do prac kontrolnych.

Dla tych, którzy chcą wiedzieć więcej o rozwoju fizycznej nauki i techniki na Ukrainie i na całym świecie, znajdzie się dużo ciekawego i przytecznego w punktach „Fizyka i technika na Ukrainie” oraz „Kartka z encyklopedii”.

Zwróćcie uwagę na to, że w podręczniku wykorzystane są oznaczenia, które pomogą Wam zorientować się w podanym materiale:



Podsumowanie



Zadania na powtórzenie



Pytania kontrolne



Doświadczenia



Ćwiczenia



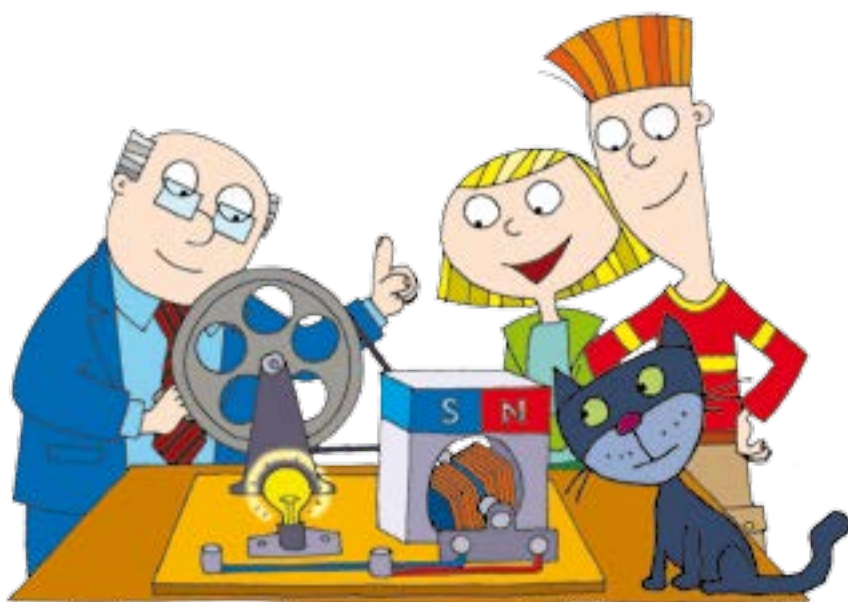
Internet-resurs

Ciekawej podróży przez świat fizyki! Powodzenia!

ROZDZIAŁ I

POLE MAGNETYCZNE

- Już wiesz, że z kompasem nie zgubisz się w lesie. Dowiesz się, w jaki sposób za pomocą kompasu można orientować się w Arktyce i Antarktyce
- Obserwowałeś, jak magnes przyciąga wiórki żelazne, wyjaśnisz, dlaczego nie przyciąga monety miedziane
- Umiesz mierzyć natężenie prądu, dowiesz się o zasadach działania amperomierza
- Stale wykorzystujesz energię elektryczną, dowiesz się, w jaki sposób pracuje generator energii elektrycznej





§ 1. ZJAWISKA MAGNETYCZNE. DOŚWIADCZENIE OERSTEDA. POLE MAGNETYCZNE

Jeszcze w starożytności zauważono zdolność niektórych rud żelaza przyciągać ku sobie ciała żelazne. Starożytni Grecy nazywali kawałki takiego żelaza kamieniami magnetycznymi, prawdopodobnie od nazwy miasta Magnezja, skąd przywożono rudę. Obecnie nazywają ich *magnesami trwałymi*. Są i *magnesy sztuczne*. O niektórych właściwościach magnesu, o oddziaływaniu przez pole magnetyczne, o łączności zjawisk elektrycznych i magnetycznych, dowiesz się z tego paragrafu.

1

Badamy właściwości magnesów trwałych

Z klasy 5. wiesz już o zjawiskach magnetycznych i o tym, że niektóre ciała mają zdolność przyciągać ku sobie przedmioty żelazne i mogą same do nich się przyciągać.

Ciała przez dłuższy czas zachowujące właściwości magnetyczne, nazywamy **magnesami trwałymi**.

Pierwszym zaczął badać magnetyzm w XIII w. w swojej pracy „O magnesach” uczony francuski *Peleren de Merikur* (dokładne daty życia nie są znane). Bardziej dokładnie zbadał właściwości magnesów trwałych fizyk i lekarz angielski, jeden z założycieli nauki o elektryczności *William Gilbert* (1544–1603). Podamy niektóre z nich.

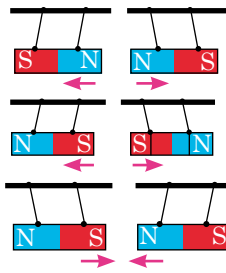
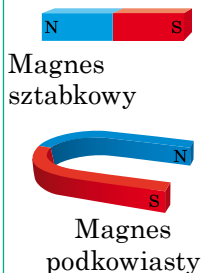
Podstawowe właściwości magnesów trwałych

1. Działanie magnetyczne magnesu jest różne w różnych częściach jego powierzchni; miejsca magnesu, w których najbardziej przejawia się działanie magnetyczne, nazywamy *biegunami magnesu*.

2. Każdy magnes ma dwa bieguny: *północny N* i *południowy S**. Magnes o jednym biegunie nie istnieje.

3. Równomiernie bieguny magnesu odpychają się, różniamiennie – przyciągają się.

4. W temperaturze, zwanej *punktem Ciuri*, magnetyczne właściwości magnesów trwałych zanikają.



Metal	Punkt Ciuri, °C
Żelazo	770
Kobalt	1115
Nikiel	354

* Noord – północ; zuiden (niem. Süden) – południe.

2 Dowiadujemy się o doświadczeniu Oersteda oraz doświadczeniach Ampera'a

Jeszcze uczeni starożytnej Grecji przypuszczali, że zjawiska magnetyczne i elektryczne są związane między sobą, jednak ustalić ten związek udało się dopiero na początku XIX w.

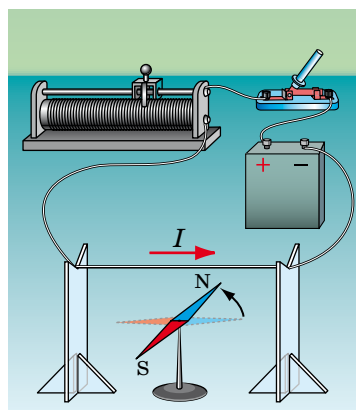
15 lutego 1820 r. duński uczyony *Hans Christian Oersted* (1777–1851) przedstawiał studentom doświadczenia z ogrzewaniem przewodników z prądem. W trakcie doświadczenia uczyony zauważył, że podczas przepływu prądu elektrycznego w przewodniku, igła magnetyczna, znajdująca się поблизу przewodnika, odchyła się w kierunku „północ–południe” i ustawia się prostopadle do przewodnika (rys. 1.1). Gdy prąd nie płynął, wskazówka ponownie wracała do poprzedniego położenia. Tak uczyony ustalił, że *prąd elektryczny wywiera określone działanie na igłę magnetyczną*.

Fizyk i matematyk francuski *Andre Mari Amper* (1775–1836) po raz pierwszy zapoznał się z doświadczeniami Oersteda 4 września 1820 r. i już po tygodniu przedstawił audytorium wzajemne oddziaływanie dwóch równoległych przewodników z prądem (rys. 1.2). Oprócz tego Amper udowodnił, że zwojnice z prądem elektrycznym działają jako magnesy trwałe (rys. 1.3). Analizując wyniki doświadczeń, Amper doszedł do wniosku: przewodniki są elektrycznie neutralne (bez ładunku), dlatego ich przyciąganie lub odpychanie nie można wyjaśniać działaniem sił elektrycznych, – „zachowanie” przewodników jest skutkiem działania sił magnetycznych.

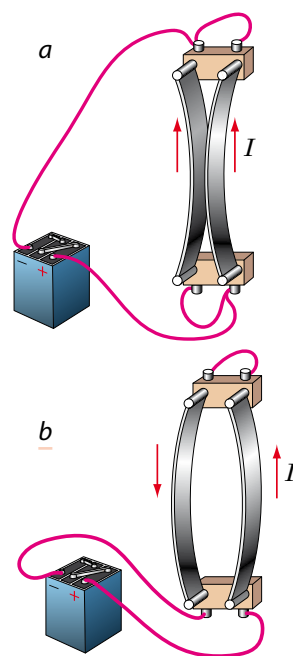
3 Definicja pola magnetycznego

Badając zjawiska elektryczne w klasie 8. odwiedzałeś się, że w przestrzeni wokół ciała naładowanego istnieje *pole elektryczne*, przez które odbywa się oddziaływanie elektryczne między ciałami i częstkami naładowanymi.

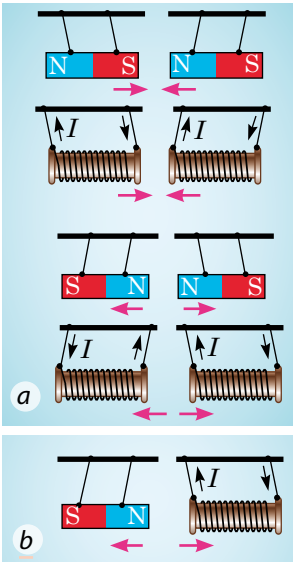
Wokół ciała namagnesowanego oraz wokół przewodnika z prądem również istnieje pole – zwane polem *magnetycznym*. *Magnetyczne oddziaływanie ujawnia się z określoną szybkością przez pole magnetyczne* (po raz pierwszy taki wniosek podał fizyk angielski *M. Faraday* (1791–1867)).



Rys. 1.1. Schemat doświadczenia H. Oersteda



Rys. 1.2. Schemat doświadczenia A. Ampere'a. Jeżeli w dwóch równoległych przewodnikach przepływa prąd o jednakowym kierunku, to przewodniki przyciągają się (a); jeżeli o przeciwnym kierunku, to odpychają się (b)



Rys. 1.3. Zwojnice z prądem działają jako magnesy trwałe

Zbadamy, na przykład, oddziaływanie magnesu trwałego i zwojnicy z prądem (rys. 1.3, b). Zwojnica z prądem wytwarza pole magnetyczne. Pole magnetyczne rozpowszechnia się w przestrzeni i zaczyna działać na magnes trwały (ciało namagnesowane), – magnes się odchyła. Magnes wytwarza własne pole magnetyczne, które, z kolei działa na zwojnicę z prądem, – zwojnica się odchyła.

Więc, pole magnetyczne istnieje jak wokół dowolnej *ruchomej* się cząstki naładowanej, tak, i, wokół dowolnego *ruchomego* ciała naładowanego i działa z określoną siłą na ciała i cząstki naładowane, *poruszające* się w polu magnetycznym.

Zwróć uwagę: nie możemy zobaczyć pole magnetyczne, jednak ono (podobnie jak pole elektryczne) istnieje w rzeczywistości jako rodzaj materii.

Pole magnetyczne – to osobliwy rodzaj materii, który istnieje wokół ciał namagnesowanych, przewodników z prądem, poruszających się ciał i cząstek naładowanych oraz działa na inne poruszające się naładowane ciała oraz cząstki, znajdujące się w tym polu.

? Wróć do doświadczenia Oersteda (patrz rys. 1.1) oraz doświadczenia Ampere'a (patrz rys. 1.2) i wyjaśnij, w jaki sposób oddziałują igła magnetyczna i przewodnik z prądem; dwa przewodniki z prądem.



Podsumowanie

Ciała przez dłuższy czas zachowujące swoje właściwości magnetyczne, nazywamy magnesami trwałymi.

Główne własności magnesów trwałych:

- magnetyczne działanie magnesu najbardziej przejawia się поблизу jego biegunów;
- bieguny równoimiennie odpychają się, a różnoimiennie przyciągają się; magnesu o jednym biegunie nie ma;
- przy ogrzewaniu magnesu trwałego do określonej temperatury (Ciuri) jego właściwości magnetyczne zanikają.

Magnetyczne oddziaływanie zachodzi przez pole magnetyczne. Pole magnetyczne – osobliwy rodzaj materii, który istnieje wokół ciał namagnesowanych, przewodników z prądem, poruszających się ciał i cząstek naładowanych i działa z określoną siłą na znajdujące się w nim ciała namagnesowane, przewodniki z prądem, poruszające się ciała i cząstki naładowane.



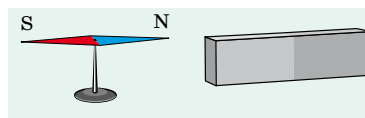
Pytania kontrolne

1. Wymień główne właściwości magnesów trwałych. Podaj przykłady. **2.** Opisz doświadczenie Ch. Oersteda. W czym tkwi sens jego wynalazku? **3.** Opisz doświadczenia A. Ampere'a. **4.** Obok jakich ciał istnieje pole magnetyczne? Na jakie ciała działa? **5.** Podaj definicje pola magnetycznego.

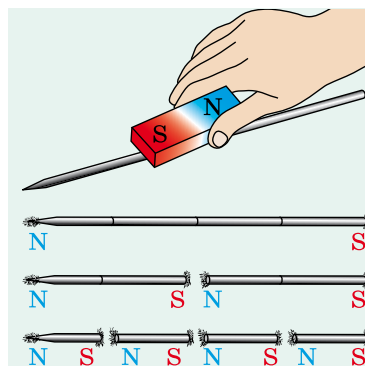


Ćwiczenie nr 1

1. Iгла magnetyczna znajduje się poblizu magnesu (rys. 1). Określ bieguny magnesu.
2. Stalowy drut namagnesowano i podzielono najpierw na dwie, a następnie na cztery części (rys. 2). Ile biegunów będzie miała każda część drutu? Jaką właściwość magnesu potwierdza doświadczenie?
3. Dlaczego, przyciągnięte do biegunów wiórki żelazne, rozchodzą się w różnych kierunkach (patrz rys. na st. 6)?
4. Dlaczego wiązka roztopionego metalu zwęża się, gdy przepuścić przez wiązkę prąd?
5. Za pomocą dodatkowych źródeł informacji, dowiedz się o historii odkrycia Ch. Oersteda. Jakie badania on przeprowadzał, badając pole magnetyczne z prądem? Jakie wyniki otrzymał?



Rys. 1

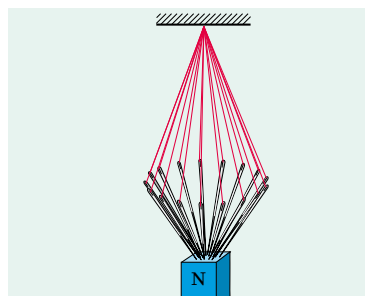


Rys. 2



Doświadczenie

1. Za pomocą dwóch-trzech magnesów trwałych, sprawdź własności magnesów.
2. Weź kilka igieł z nitkami. Zwiń nitki w kłębek, i powoli podnoś z dołu magnes trwały. Wyjaśnij obserwowane zjawisko (rys. 3).



Rys. 3

Fizyka i technika na Ukrainie

Instytut magnetyzmu PAN i MON Ukrainy (Kijów) – instytucja naukowa, zajmująca się badaniami w dziedzinie magnetyzmu i materiałów magnetycznych. Instytut jest ciasno powiązany z innymi uczelniami Ukrainy – Politechniką Kijowską i Uniwersytetem państwowym w Kijowie im. T. Szewczenki.

W roku 1995 pierwszym organizatorem i dyrektorem instytutu był znany ukraiński fizyk, akademik, Bohater Ukrainy *Wiktor Barjachtar*. Najbardziej znane jego prace w dziedzinie fizyki teoretycznej, fizyki zjawisk magnetycznych, fizyki ciała stałego, badania skutków Awarii w Czarnobylu. Od roku 2016 na czele instytutu jest Jurij Horobeć.

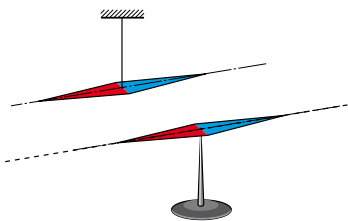
Otrzymane w instytucie materiały dla magnetycznych odtwarzaczy i zapisywaczy informacji, urządzenia wysokiego ciśnienia i temperatur, monokryształy są wykorzystywane na szeroką skalę w elektronice, medycynie. Instytut posiada unikalną technologię i urządzenia do otrzymywania cienkich nanobłn.

Instytut magnetyzmu jest zaliczony do obiektów, które są państwowym bogactwem.



§ 2. INDUKCJA POŁA MAGNETYCZNEGO. LINIE INDUKCJI MAGNETYCZNEJ. MAGNETYCZNE POŁE ZIEMI

Nie możemy zobaczyć pole magnetyczne, jednak należy nauczyć się jego przedstawiać. W tym celu będą nam służyć igły magnetyczne. Każda taka igła jest trwałym magnesem, który może lekko obracać się w poziomej płaszczyźnie (rys. 2.1). O tym, jak przedstawia się pole magnetyczne, jaka wielkość go charakteryzuje, dowiesz się z tego paragrafu.



Rys. 2.1. Igła magnetyczna jest magnesem trwałym. Linia przerywana wskazuje oś igły magnetycznej

1 Badamy siłową charakterystykę pola magnetycznego

Pole magnetyczne działa na poruszającą się w nim cząstkę z określoną siłą. Wartość siły zależy od ładunku cząstki, kierunku ruchu, prędkości z którą porusza się cząstka, oraz od tego, jak silne jest pole.

Siłową charakterystyką pola magnetycznego jest *indukcja magnetyczna*.

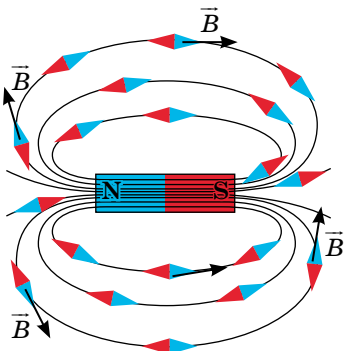
Indukcja magnetyczna (indukcja pola magnetycznego) – wektorowa wielkość fizyczna, która charakteryzuje siłowe działanie pola magnetycznego.

Indukcja magnetyczna oznacza się symbolem \vec{B} . Jednostką indukcji magnetycznej w Układzie SI – jest **tesla***; nazwana ku czci serbskiego fizyka *Nikoli Tesli* (1856–1943):

$$[B] = 1 \text{ T.}$$

Kierunek **wektora indukcji magnetycznej** zgadza się z *kierunkiem, na który wskazuje północny biegun igły magnetycznej, ustawionej w danym punkcie pola magnetycznego* (rys. 2.2).

Zwróć uwagę! Kierunek siły, z którą pole działa na poruszające się cząstki naładowane lub na przewodnik z prądem, lub na igłę magnetyczną, nie jest zgodny z kierunkiem wektora indukcji magnetycznej.

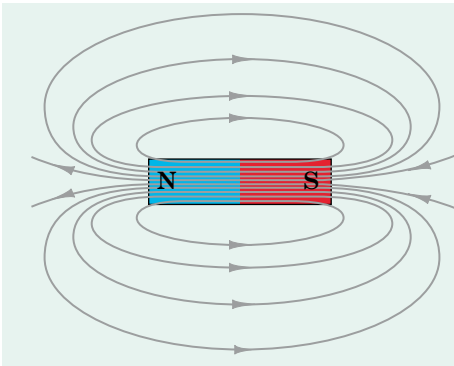


Rys. 2.2. W polu magnetycznym igły magnetyczne ustawiają się w określony sposób: biegun północny każdej igły magnetycznej wskazuje kierunek wektora indukcji pola magnetycznego w danym punkcie pola

2 W jaki sposób przedstawia się pole magnetyczne

Na rys. 2.2 widać, że igły magnetyczne w polu magnetycznym ustawiają się chaotycznie: ich osie tworzą

* O zapisie 1 T przez inne jednostki Układu SI, o wzorze, według którego można obliczać moduł indukcji magnetycznej, o kierunku siły, z którą pole magnetyczne działa na przewodnik z prądem, dowiesz się w paragrafie 4.



Linie magnetyczne:

- poza magnesem wychodzą z bieguna północnego magnesu i wchodzą w południowy;
- są zawsze zamknięte (pole magnetyczne jest polem wirowym);
- pole jest najbardziej silne w otoczeniu biegunów magnesów;
- nigdy nie przecinają się.

Rys. 2.3. Linie pola magnetycznego magnesu sztabkowego

linie, a wektor indukcji magnetycznej w każdym punkcie jest skierowany wzdłuż stycznej ku linii, przechodzącej przez dany punkt.

Umowne linie, styczne do których w każdym punkcie są zbieżne z linią, wzdłuż której jest skierowany wektor indukcji magnetycznej, nazywamy **liniami indukcji magnetycznej** lub **liniami magnetycznymi**.

Za pomocą linii magnetycznych przedstawia się pole magnetyczne:

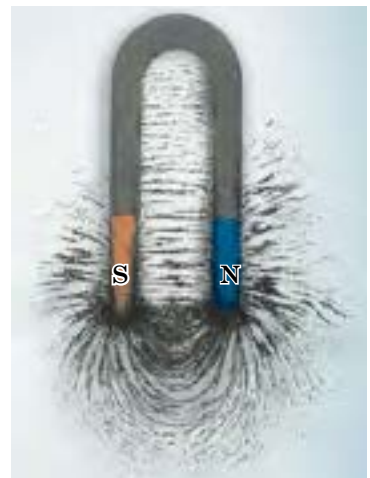
- 1) *kierunek wektora indukcji magnetycznej jest kierunkiem linii indukcji magnetycznej w danym punkcie pola;*
- 2) *linie indukcji magnetycznej są gęstsze w tych obszarach pola, gdzie moduł indukcji magnetycznej jest większy.*

Patrząc na rysunek linii pola magnetycznego magnesu sztabkowego (patrz rys. 2.3), można wyciągnąć kilka wniosków. Podkreślamy, że wnioski sprawdzają się dla linii magnetycznych dowolnego magnesu.

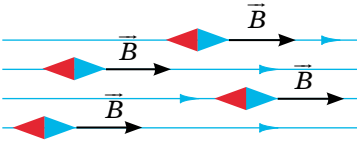
? Jaki jest kierunek linii magnetycznych w środku magnesu sztabkowego?

Zbadać linii pola magnetycznego można za pomocą żelaznych wiórek. W tym celu umieszczamy na magnesie podkowiastym płytkę ze szkła organicznego i nasypujemy na płytkę wiórki żelazne. W polu magnetycznym każdy kawałek żelaza namagnesowuje się i staje się małą igielką magnetyczną. Igielki te ustawiają się wzdłuż linii magnetycznych pola magnetycznego magnesu (rys. 2.4).

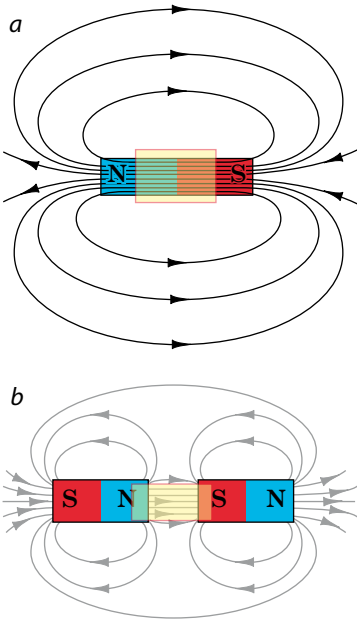
? Narysuj w zeszycie linie magnetyczne pola magnetycznego magnesu podkowiastego. Pamiętaj o tym, że linie magnetyczne są zawsze zamknięte.



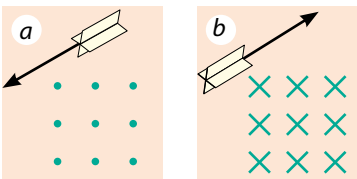
Rys. 2.4. Rysunek, utworzony łańcuszkami wiórek żelaznych, przedstawia linie indukcji magnetycznej pola magnetycznego magnesu podkowiastego



Rys. 2.5. Obszar jednorodnego pola magnetycznego



Rys. 2.6. Pole magnetyczne w środku magnesu sztabkowego (a) i między dwoma magnesami, obróconymi ku sobie różnoimiennymi biegunami (b), uważa się za jednorodny



Rys. 2.7. Rysunek linii indukcji magnetycznej jednorodnego pola magnetycznego, które są prostopadłe do płaszczyzny rysunku i skierowane do nas (a); skierowane od nas (b)

3 Badamy jednorodne pole magnetyczne

W określonej części przestrzeni pole magnetyczne nazywamy **jednorodnym**, jeżeli w każdym jego punkcie *wektory indukcji magnetycznej są jednakowe co do wartości i kierunku* (rys. 2.5).

W tych obszarach pola, gdzie jest ono jednorodne, linie indukcji magnetycznej są równoległe i znajdują się na jednakowej odległości jedna od drugiej (rys. 2.5, 2.6). Fizycy umówili się zaznaczać linie pola magnetycznego, skierowane do nas, punktami (rys. 2.7, a) – widzimy jakby ostrze „strzały”, lecące na nas.

Jeżeli linie magnetyczne skierowane od nas, zaznaczamy ich krzyżykiem – jakby widzimy pióra strzały lecące od nas (rys. 2.7, b).

W większości wypadków badamy niejednorodne pole magnetyczne, – pole, w różnych punktach którego wektory indukcji magnetycznej mają różne wartości i kierunki. Linie magnetyczne takiego pola nie są równe, gęstość ich jest różna.

4 Badamy pole magnetyczne Ziemi

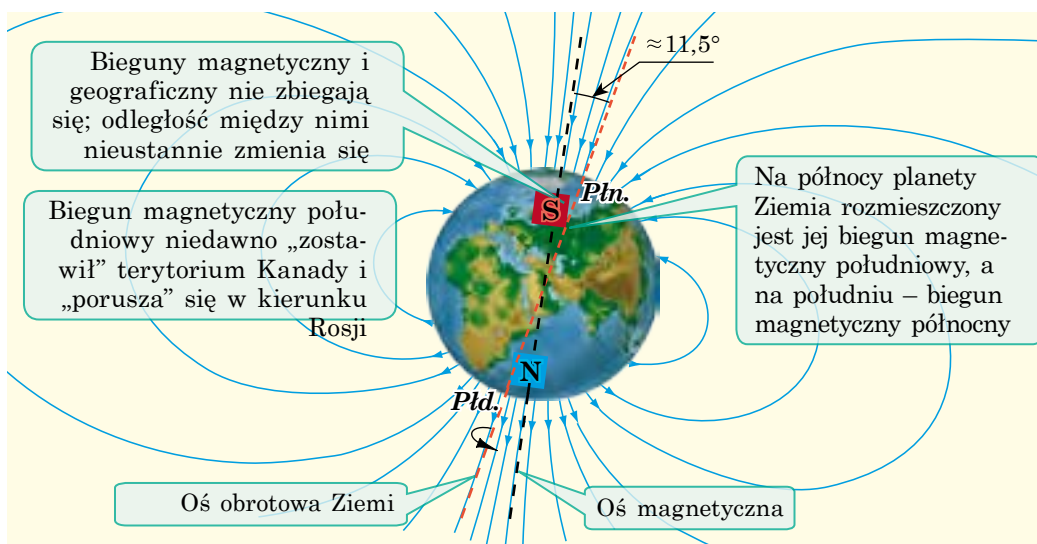
Pierwsze doświadczenia badań magnetycznych Ziemi przeprowadził W. Gilbert. Z magnesu trwałego sporządził on kulę (model Ziemi). Umieszczając na kuli kompas, Gilbert zauważył, że igła kompasu zachowuje się podobnie, jak na powierzchni Ziemi.

Przeprowadzone doświadczenie pozwoliło uczonemu przypuścić, że *Ziemia – to ogromny magnes i, że na północy naszej planety znajduje się jej południowy biegun magnetyczny*. Następne badania całkowicie potwierdziły przypuszczenia Gilberta.

Na rys. 2.8 przedstawiono rysunek linii indukcji magnetycznej pola magnetycznego Ziemi.

? Wyobraź sobie, że podróżujesz na biegun Północny, poruszając się dokładnie w tym kierunku, który wskazuje igła kompasu. Czy znajdziesz się w zaznaczonym miejscu?

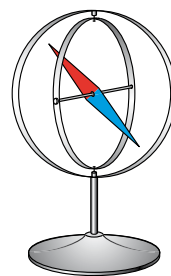
Linie indukcji magnetycznej pola magnetycznego Ziemi nie są równoległe do jej powierzchni. Gdy ustawić igłę magnetyczną tak, aby mogła ona swobodnie obracać się wokół powierzchni poziomej i pionowej, to ustawi się ona pod określonym kątem do powierzchni Ziemi.



Rys. 2.8. Schemat rozkładu linii pola magnetycznego planety Ziemia

❓ Jak, waszym zdaniem, będzie rozmieszczona igła magnetyczna w urządzeniu, przedstawionym na rys. 2.9, obok północnego magnetycznego bieguna Ziemi? obok południowego magnetycznego bieguna Ziemi?

Pole magnetyczne Ziemi od dawna pomagało orientować się wędrowcom, marynarzom, wojskowym i nie tylko im. Udowodniono, że ryby, morskie ssaki i ptaki podczas swoich migracji orientują się według magnetycznego pola Ziemi. Tak samo orientują się, szukając drogę do domu i niektóre zwierzęta, na przykład koty.

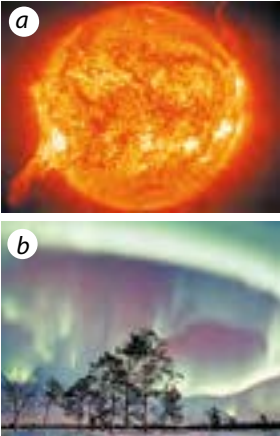


Rys. 2.9. Do zadania w § 2

5 Dowiadujemy się o burzach magnetycznych

Dokładne badania potwierdziły to, że pole magnetyczne Ziemi nie jest stałe, a zmienia się okresowo. Oprócz tego, obserwujemy niewielkie coroczne zmiany pola magnetycznego Ziemi. Jednak, czasami te zmiany są poważne. Silne zaburzenia pola magnetycznego Ziemi otaczającego planetę, trwające od jednego do kilku dni, nazywamy *burzami magnetycznymi*. Ludzie zdrowi nie odczuwają burz magnetycznych, jednak u ludzi z problemami chorób serca i układu nerwowego powodują one źle samopoczucie.

Pole magnetyczne Ziemi chroni naszą planetę od cząstek naładowanych, które lecą do nas z kosmosu, najbardziej ze Słońca („wiatr słoneczny”). W pobliżu biegunów magnetycznych strumienie cząstek podlatują dość blisko, wkraczając w atmosferę Ziemi. Podczas wzrastania aktywności słonecznej cząstki kosmiczne docierają do górnych warstw atmosfery i jonizują cząsteczki gazu – wtedy na Ziemi obserwujemy zorze polarne (rys. 2.10).



Rys. 2.10. Podczas podwyższenia aktywności słonecznej zwiększa się pole ciemnych plam na Słońcu (a), a na Ziemi obserwujemy burze magnetyczne i zorze polarne (b)



Podsumowanie

Indukcja magnetyczna \vec{B} – wektorowa wielkość fizyczna, charakteryzująca siłowe działanie pola magnetycznego. Kierunek wektora indukcji magnetycznej jest zgodny z kierunkiem, który wskazuje północny biegun igły magnetycznej. Jednostką indukcji magnetycznej w Układzie SI jest tesla (T).

Umowne skierowane linie, styczne do których są zgodne z linią, wzdłuż której jest skierowany wektor indukcji magnetycznej, nazywamy liniami indukcji magnetycznej lub liniami magnetycznymi.

Linie indukcji magnetycznej są zawsze zamknięte, poza magnesem wychodzą z bieguna północnego i wchodzi w biegun południowy, są gęstsze w tych obszarach pola magnetycznego, w których wartość indukcji magnetycznej jest większa.

Planeta Ziemia ma pole magnetyczne. W pobliżu północnego geograficznego bieguna Ziemi znajduje się jej południowy biegun magnetyczny, w pobliżu południowego geograficznego bieguna – północny biegun magnetyczny.

Pytania kontrolne

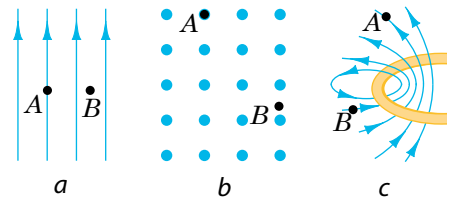


1. Podaj definicję indukcji magnetycznej.
2. Jak jest skierowany wektor indukcji magnetycznej?
3. W jakich jednostkach mierzy się indukcję magnetyczną w SI? Ku czci kogo została tak nazwana?
4. Podaj określenie linii indukcji magnetycznej.
5. Jaki kierunek jest uważany za kierunek linii magnetycznych?
6. Od czego zależy gęstość linii magnetycznych?
7. Jakie pole magnetyczne nazywamy jednorodnym?
8. Udowodnij, że Ziemia ma pole magnetyczne.
9. Jak rozmieszczone są bieguny magnetyczne Ziemi względem biegunów geograficznych?
10. Czym wyjaśnia się powstanie burz magnetycznych? Jaki jest ich wpływ na samopoczucie człowieka?

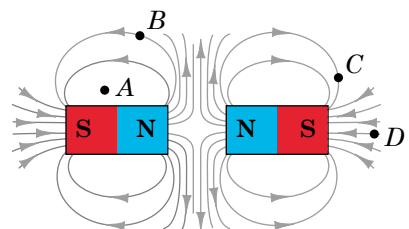
Ćwiczenie nr 2



1. Na rys. 1 przedstawione są linie indukcji magnetycznej w określonym obszarze pola magnetycznego. Określ dla każdego wypadku a–c:
 - 1) jest to pole jednorodne czy niejednorodne;
 - 2) kierunek wektora indukcji magnetycznej w punktach A i B pola;
 - 3) w jakim punkcie A czy B – indukcja magnetyczna jest większa.
2. Dlaczego okienne kraty stalowe mogą z czasem namagnesować się?
3. Na rys. 3 narysowane są linie pola magnetycznego, wytworzonego przez dwa jednakowe magnesy trwałe, obrócone ku sobie równoimiennymi biegunami.



Rys. 1



Rys. 2

- 1) Czy istnieje pole magnetyczne w punkcie A ?
 - 2) Jaki kierunek ma wektor indukcji magnetycznej w punkcie B ? w punkcie C ?
 - 3) W jakim punkcie – A czy C – indukcja magnetyczna pola jest największa?
 - 4) Jaki kierunek mają wektory indukcji magnetycznej w środku magnesów?
4. Wcześniej podczas ekspedycji na biegun Północny wynikały problemy, powiązane z określeniem kierunku ruchu przez to, że w pobliżu bieguna zwykle kompasy prawie nie pracowały. Jak uważasz, dlaczego?
 5. Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się, jakie znaczenie ma pole magnetyczne dla życia na naszej planecie. Co byłoby, gdyby pole gwałtownie zniknęło?
 6. Na powierzchni ziemi są obszary, gdzie indukcja pola magnetycznego Ziemi jest o wiele większa, niżeli w innych miejscach. Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się więcej o magnetycznych anomaljach.
 7. Wyjaśnij, dlaczego dowolne nienaładowane ciało zawsze przyciąga się do ciała naładowanego.



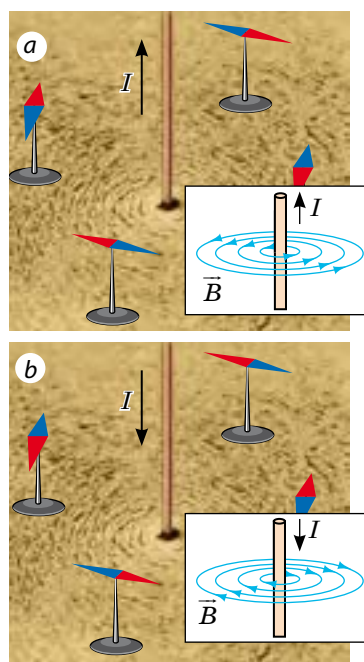
§ 3. POLE MAGNETYCZNE PRĄDU. REGUŁA KORKOCIĄGU

Już wiesz, że wokół przewodnika z prądem istnieje pole magnetyczne. Badamy pole za pomocą wiórek żelaznych. Przewodnik przesuniemy przez kawałek kartonu prostopadle do powierzchni, nasypimy wiórek i zamkniemy okrąg. W polu magnetycznym przewodnika wiórki namagnesowują się i przedstawiają linie indukcji magnetycznej pola magnetycznego prostoliniowego przewodnika z prądem – okręgi (patrz rys. 3.1). Jak określić kierunek linii magnetycznych?

1 Zapoznamy się z regułą korkociągu

Obok przewodnika z prądem ustawiamy igły magnetyczne i przepuszczamy przez przewodnik prąd – igły ustawiają się w magnetycznym polu przewodnika (rys. 3.1, a). Północny biegun każdej igły wskaże kierunek wektora indukcji pola magnetycznego w danym punkcie, więc i kierunek linii magnetycznych pola.

Wraz ze zmianą kierunku prądu w przewodniku zmienia się i ustawianie igieł magnetycznych (rys. 3.1, b). To znaczy, że kierunek linii magnetycznych zależy od kierunku prądu w przewodniku.



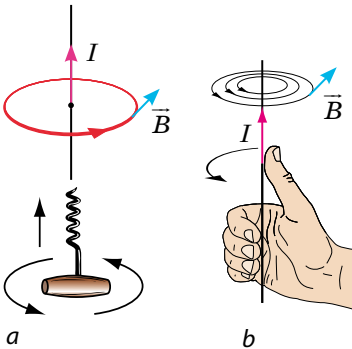
Rys. 3.1. Określenie kierunku linii indukcji magnetycznej pola magnetycznego przewodnika z prądem za pomocą igieł magnetycznych

Określać kierunek linii indukcji magnetycznej za pomocą igły magnetycznej nie jest wygodnie, dlatego stosuje się **regułę korkociągu**:

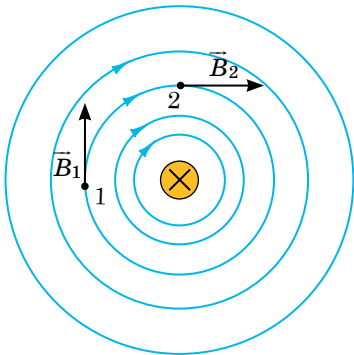
Jeżeli korkociąg wkręcać w kierunku prądu w przewodniku, to kierunek obrotu rękojeści korkociągu wskaże kierunek linii pola magnetycznego prądu (rys. 3.2, a);

lub *inaczej*:

Jeżeli kciuk prawej dłoni wskaże kierunek przepływu prądu w przewodniku, to cztery zgięte palce będą wskazywać kierunek linii pola magnetycznego prądu (rys. 3.2, b).



Rys. 3.2. Określenie kierunku linii pola magnetycznego przewodnika z prądem za pomocą reguły korkociągu



Rys. 3.3. Linie indukcji magnetycznej magnetycznego pola przewodnika z prądem. Przewodnik jest prostopadły do płaszczyzny rysunku; krzyżyk (\times) pokazuje, że natężenie prądu w przewodniku jest skierowane od nas

? Przekonamy się w prawidłowości reguły korkociągu dla wypadków, przedstawionych na rys. 3.1.

2 Wyjaśnijmy, od czego zależy wartość indukcji pola magnetycznego przewodnika z prądem

Przypomnij sobie: magnetyczne działanie przewodnika z prądem po raz pierwszy zbadał Ch. Oersted w 1820 r. Dlaczego nie zrobiono tego wcześniej? Rzecz w tym, że *ze zwiększeniem odległości od przewodnika indukcja magnetyczna wytworzonego pola magnetycznego zmniejsza się*. Więc, gdy igła magnetyczna znajduje się dalej od przewodnika z prądem, magnetyczne działanie prądu jest prawie niezauważalne.

? Rozpatrzmy rys. 3.3. Dlaczego wraz ze zwiększeniem odległości od przewodnika gęstość linii indukcji magnetycznej zmniejsza się? Czy jednakowe będą wartości wektorów \vec{B}_1 i \vec{B}_2 ?

Indukcja magnetyczna zależy od natężenia prądu: *ze zwiększeniem natężenia prądu w przewodniku, indukcja magnetyczna indukowanego pola magnetycznego zwiększa się*.

3 Badamy pole magnetyczne zwojnicy z prądem

Zwiniemy drut izolowany w zwojnicę i przepuścimy przez niego prąd. W otoczeniu zwojnicy ustawiamy igielki magnetyczne. Igielki magnetyczne ustawiają się biegunem północnym do jednego końca zwojnicy, a do drugiego – południowym (rys. 3.4). Więc, wokół zwojnicy z prądem istnieje pole magnetyczne.

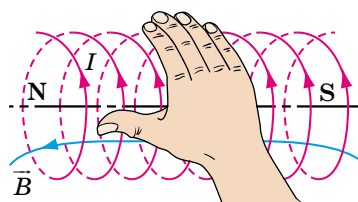
Zwojnica z prądem, podobnie do magnesu sztabkowego, ma dwa bieguny – południowy i północny. *Bieguny znajdują się na końcach zwojnicy i można je łatwo określić za pomocą reguły prawej dłoni:*

Jeżeli cztery zgięte palce skierować w kierunku prądu w zwojnicy, to odchylony o 90° kciuk wskaże w kierunku północnego bieguna zwojnicy, czyli kierunek wektora indukcji magnetycznej w środku zwojnicy (rys. 3.5).

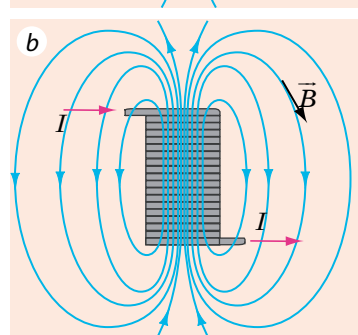
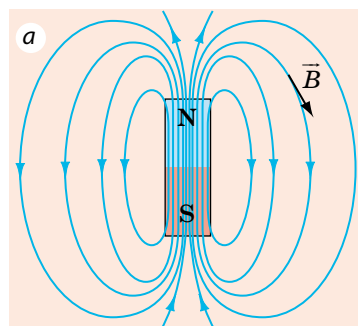
Jeżeli porównywać linie pól magnetycznych zwojnicy z prądem i magnesu trwałego (rys. 3.6), to zauważymy, że są one bardzo podobne. Igła magnetyczna, podwieszona zwojnica z prądem i podwieszony magnes sztabkowy ustawiają się w polu magnetycznym Ziemi jednakowo.



Rys. 3.4. Badanie pola magnetycznego zwojnicy z prądem za pomocą igieł magnetycznych



Rys. 3.5. Określenie biegunów zwojnicy z prądem za pomocą reguły prawej dłoni



Rys. 3.6. Linie indukcji magnetycznej pola magnetycznego magnesu sztabkowego (a) i zwojnicy z prądem (b)

Podsumowanie



Wokół przewodnika z prądem istnieje pole magnetyczne. Indukcja magnetyczna pola, wytworzonego przez prąd, zmniejsza się ze zwiększeniem natężenia prądu w przewodniku.

Kierunek linii indukcji magnetycznej pola magnetycznego przewodnika z prądem można określić za pomocą igieł magnetycznych lub za pomocą reguły korkociągu.

Zwojnica z prądem, podobnie do magnesu trwałego, ma dwa bieguny. Można je określić za pomocą reguły prawej dłoni: jeżeli cztery zgięte palce skierować w kierunku prądu, to odchylony o 90° kciuk wskaże w kierunku północnego bieguna zwojnicy.

Pytania kontrolne

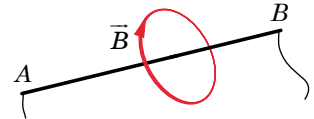


1. W jaki sposób określa się kierunek linii indukcji magnetycznej pola magnetycznego przewodnika z prądem? **2.** Podaj regułę korkociągu. **3.** W jaki sposób indukcja magnetyczna pola magnetycznego przewodnika z prądem zależy od odległości do przewodnika? od natężenia prądu w przewodniku? **4.** Jak wygląda spektrum pola magnetycznego prostoliniowego przewodnika z prądem? **5.** Jak określamy bieguny magnetyczne zwojnicy z prądem?

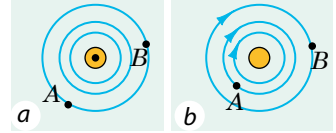


Ćwiczenie nr 3

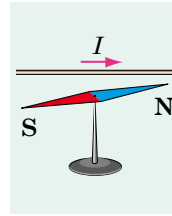
1. Na rys. 1 przedstawiono linię indukcji magnetycznej pola magnetycznego przewodnika z prądem. Określ kierunek prądu.
2. Na rys. 2 narysowane są linie indukcji magnetycznej pól magnetycznych dwóch przewodników z prądem. 1) Jak jest skierowane pole magnetyczne przewodnika na rys. 2, a? 2) Określ kierunek prądu w przewodniku na rys. 2, b. 3) W jakim punkcie – *A* czy *B* (rys. 2, a, b) – pole magnetyczne jest bardziej silne?
3. Jakim biegunem obróci się do nas igła magnetyczna (rys. 3)? Czy zmieni się odpowiedź, jeżeli igłę ustawić nad przewodnikiem?
4. Nad zwojnicą podwieszono magnes (rys. 4). Jak będzie zachowywać się magnes, jeżeli obwód jest rozerwany?
5. Określ bieguny źródła prądu na rys. 5.
6. W niektórych przyrządach nie jest pożądane pojawienie się pola magnetycznego. W takich wypadkach wykorzystuje się bifilarne nawinięcie: przewód zwija się dwukrotnie tak, aby oba jego końce były razem. W czym sens takiego nawinięcia?



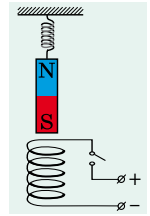
Rys. 1



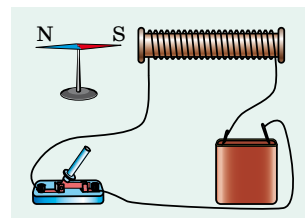
Rys. 2



Rys. 3



Rys. 4



Rys. 5



Doświadczenie

„*Kompas elektromagnetyczny*”. Sklej walec papierowy o średnicy 7–10 mm i o długości 4–5 cm. Nawiń na walec 20–30 zwojów cienkiego izolowanego drutu. Umocuj otrzymaną zwojnicę poziomo na niewielkiej deseczce (lub korku) i połącz końce przewodu z baterią ogniów galwanicznych. Określ i zaznacz bieguny zwojnicy. Zanurz deseczkę do szerokiego naczynia z wodą. Otrzymałeś kompas elektromagnetyczny. Jak on będzie działać? Wstaw do zwojnicy gwóźdź żelazny. Czy będzie kompas prawidłowo pracować?

Fizyka i technika na Ukrainie



Aleksander Achijezher (1911–2000) – znany fizyk-teoretyk, doktor PANU, założyciel szkoły fizyki teoretycznej. Jego uczniami są W. Barjachtar, D. Wołkow, S. Peletmiński, O. Sytenko i ponad 30 doktorów nauk.

Badając oddziaływanie naddźwięku z kryształami, O. Achijezher opracował mechanizm pochłaniania, uwarunkowany modulacją energii kwazicząstki przez pole zewnętrzne, nazwany ku jego czci „*mechanizmem Achijezera*”. Uczony jest autorem teorii rezonansowych reakcji jądrowych, otrzymał podstawowe wyniki podczas badania fizyki plazmy, razem z uczniami sformułował podstawy plazmy elektrodynamiki. Wspólnie z W. Barjachtarem i S. Peletmińskim odkrył nowe zjawisko – magnetoakustyczny rezonans.

Jego imieniem nazwano Instytut fizyki teoretycznej Państwowego centrum naukowego „Fizyko-techniczny instytut w Charkowie”.

§ 4. SIŁA AMPERE’A

Z materiału § 1. wiesz, że pole magnetyczne działa z określoną siłą na przewodnik z prądem. Z fizyki klasy 8. pamiętasz, że siła – to wielkość wektorowa, dlatego, aby można było określać siłę, należy umieć obliczać jej wartość i określać kierunek. Od czego zależy wartość siły, z którą pole magnetyczne działa na przewodnik z prądem, jak jest ona skierowana i dlaczego nazywa się siłą Ampere’a, dowiesz się z tego paragrafu.

1 Siła, która działa na przewodnik z prądem

Zawiesimy prosty przewodnik aluminiowy na cienkich giętkich przewodach tak, aby znajdował się on między biegunami trwałego magnesu podkowiastego (rys. 4.1, *a*). Jeżeli w przewodniku płynie prąd, to on wychyla się od położenia równowagi (rys. 4.1, *b*). Przyczyną odchylenia jest siła, z którą pole magnetyczne działa na przewodnik z prądem.

Dlatego taka siła istnieje, od czego zależy jej wartość i kierunek wyjaśnił A. Amper. Dlatego nazywamy tę siłę *siłą A. Ampere’a*.

Siła Ampere’a – to siła, z którą pole magnetyczne działa na przewodnik z prądem.

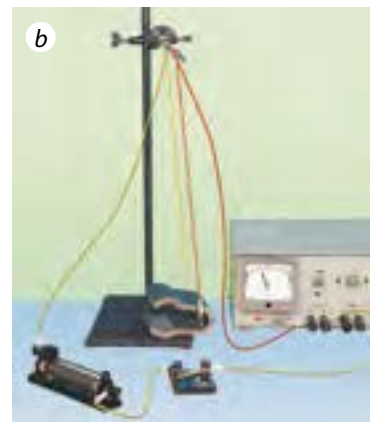
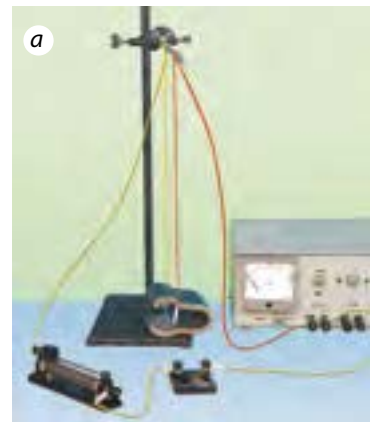
Siła Ampere’a jest wprost proporcjonalna natężeniu w przewodniku i długości części aktywnej przewodnika (czyli części, znajdującej się w polu magnetycznym). Siła Ampere’a zwiększa się ze wzmocnieniem pola magnetycznego i zależy od tego, pod jakim kątem jest rozmieszczony przewodnik do linii indukcji magnetycznej.

Wartość siły Ampere’a (F_A) wyraża się wzorem:

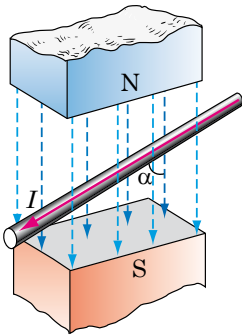
$$F_A = BIl \sin \alpha,$$

gdzie B – indukcja magnetyczna pola magnetycznego; I – natężenie prądu w przewodniku; l – długość aktywnej części przewodnika; α – kąt między kierunkiem wektora indukcji magnetycznej i kierunkiem prądu w przewodniku (rys. 4.2).

Zwróć uwagę! Pole magnetyczne nie działa na przewodnik z prądem ($F_A=0$), jeżeli



Rys. 4.1. Doświadczenie, które ilustruje działanie pola magnetycznego na przewodnik aluminiowy: gdy prądu nie ma, pole magnetyczne nie działa na przewodnik (*a*); gdy w przewodniku płynie prąd, na przewodnik działa pole magnetyczne i przewodnik odchyła się (*b*)



Rys. 4.2. Kąt α – kąt między kierunkiem wektora indukcji i kierunkiem prądu w przewodniku

przewodnik jest równoległy do linii magnetycznych pola ($\sin \alpha = 0$).

Kierunek siły Amperę'a można określić za pomocą **reguły lewej dłoni**:

Jeśli lewą dłoń ustawimy tak, aby linie indukcji magnetycznej przebijały dłoń, a cztery wyprostowane palce wskazywały kierunek prądu w przewodniku, to wychylony o 90° kciuk wskaże kierunek siły Amperę'a (rys. 4.3).

? Na rys. 4.4 pokazano wyznaczenie kierunku siły Amperę'a, która działa na przewodnik, rozmieszczony w pionowym polu magnetycznym. Wyznacz kierunek prądu w przewodniku, kierunek magnetycznej indukcji i kierunek siły Amperę'a.

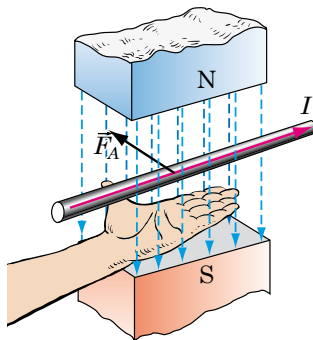
2 Wyprowadzamy wzór wyznaczania indukcji magnetycznej

Jeżeli przewodnik jest prostopadły do linii indukcji magnetycznej ($\alpha = 90^\circ$, $\sin \alpha = 1$), to pole działa na przewodnik z maksymalną siłą:

$$F_{A\max} = BIl$$

Skąd otrzymujemy **wzór wyznaczania wartości bezwzględnej indukcji magnetycznej**:

$$B = \frac{F_{A\max}}{Il}$$



Rys. 4.3. Określenie kierunku siły Amperę'a za pomocą reguły lewej dłoni

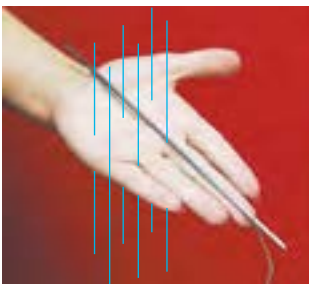
Zwróć uwagę! Wartość indukcji magnetycznej nie zależy od natężenia prądu w przewodniku, długości przewodnika, a zależy tylko od właściwości pola magnetycznego.

Na przykład, jeżeli zmniejszyć natężenie prądu w przewodniku, to zmieni się siła Amperę'a, z którą pole magnetyczne działa na przewodnik, jednak wartość indukcji magnetycznej pozostanie stała.

W Układzie SI jednostką indukcji magnetycznej jest tesla (T), siły – niuton (N), natężenia prądu – amper (A), długości – metr (m), dlatego:

$$1\text{T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

1 T – to indukcja jednorodnego pola magnetycznego, działającego z maksymalną siłą 1 N na przewodnik o długości 1 m, w którym płynie prąd o natężeniu 1 A.



Rys. 4.4. Do zadania w § 4

3 Uczymy się rozwiązywać zadania

Zadanie 1. Udowodnij, że dwa równoległe przewodniki, w

których płynie prąd w tym samym kierunku, przyciągają się.

Analiza problemu fizycznego. Wokół dowolnego przewodnika z prądem istnieje pole magnetyczne, więc każdy przewodnik znajduje się w polu magnetycznym innego przewodnika. Na pierwszy przewodnik działa siła Ampere'a ze strony pola magnetycznego, wytworzonego przez prąd w drugim przewodniku, i na odwrót. Gdy zgodnie z regułą lewej dłoni określimy kierunki tych sił, to wyjaśnimy, jak będą zachowywać się przewodniki.

Rozwiązanie

W rozwiązywaniu zadania pomogą nam rysunki: przedstawimy przewodniki A i B , wskażemy kierunek prądu w nich i in.

Określimy kierunek siły Ampere'a, działającej na przewodnik A , znajdujący się w polu magnetycznym przewodnika B .

1) Stosując regułę korkociągu określimy kierunek linii indukcji magnetycznej pola magnetycznego, wytworzonego przez przewodnik B (rys. 1, a). Okazuje się, że obok przewodnika A linie magnetyczne skierowane są do nas (symbol „•”).

2) Stosując regułę lewej dłoni, określimy kierunek siły Ampere'a, działającej na przewodnik A ze strony przewodnika B (rys. 1, b).

3) Wnioskujemy: przewodnik A przyciąga się do przewodnika B .

Następnie określimy kierunek siły Ampere'a, działającej na przewodnik B , znajdujący się w polu magnetycznym przewodnika A .

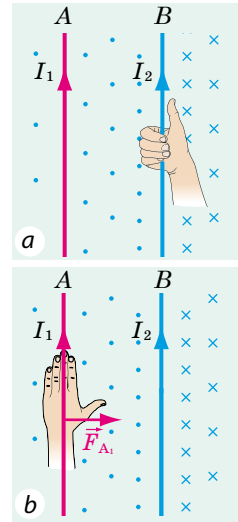
1) Określimy kierunek linii indukcji magnetycznej pola magnetycznego, wytworzonego przez przewodnik A (rys. 2, a). Obok przewodnika B linie magnetyczne skierowane są od nas (symbol „×”).

2) Określimy kierunek siły Ampere'a, działającej na przewodnik B , znajdujący się w polu magnetycznym przewodnika B (rys. 2, b).

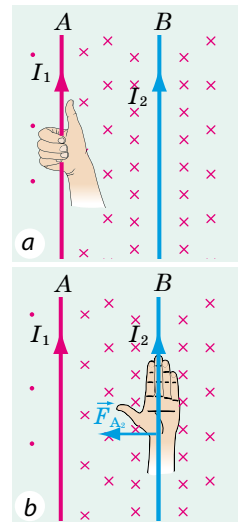
3) Wnioskujemy: przewodnik B przyciąga się do przewodnika A .

Odpowiedź: dwa równoległe przewodniki, w których płynie prąd w jednym kierunku, przyciągają się.

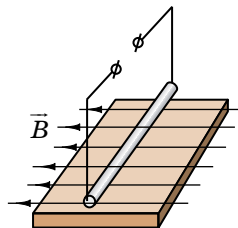
Zadanie 2. Prostoliniowy przewodnik (pręt) o długości 0, 1 m i masie 40 g znajduje się w poziomym jednorodnym polu magnetycznym o indukcji 0, 5 T. Pręt jest prostopadły do linii magnetycznych pola (rys. 3). Prąd o jakim natężeniu i w jakim kierunku należy przepuszczać przez pręt, aby on nie działał na podłożu (pozostawał zawieszony w polu)?



Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3

Analiza problemu fizycznego. Pręt nie działa na podłoże wtedy, gdy siła Ampere'a jest zrównoważona siłą ciężkości. Jest tak wtedy, gdy: 1) siła Ampere'a jest skierowana w kierunku przeciwnym do siły ciężkości (czyli pionowo do góry); 2) wartość siły Ampere'a równa się wartości siły ciężkości: $F_A = F_{cięż}$.

Określamy kierunek prądu za pomocą reguły lewej dłoni.

Dane:

$$l = 0,1 \text{ m}$$

$$m = 40\text{g} = 0,04 \text{ kg}$$

$$B = 0,5 \text{ T}$$

$$g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

Znaleźć:

I – ?

Poszukiwanie modelu matematycznego, rozwiązanie

1. Określamy kierunek prądu. Lewą dłoń ustawiamy tak, aby linie pola magnetycznego przebiegały dłoń, odchylony o 90° kciuk był skierowany pionowo do góry. Cztery wyprostowane palce wskażą kierunek od nas. Więc, prąd w przewodniku należy skierować od nas.

2. Uwzględniamy, że $F_A = F_{cięż}$

$$F_A = BIl \sin \alpha, \text{ gdzie } \sin \alpha = 1; F_{cięż} = mg.$$

Więc, $BIl = mg$.

Z ostatniego wzoru wyznaczamy natężenie prądu: $I = \frac{mg}{Bl}$.

Sprawdzamy jednostkę, wyznaczamy wartość szukanej wielkości.

$$\text{Przypomnijmy sobie: } T = \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}; [I] = \frac{\text{kg} \cdot \text{N} \cdot \text{A} \cdot \text{m}}{\text{kg} \cdot \text{N} \cdot \text{m}} = \text{A},$$

$$I = \frac{0,04 \cdot 10}{0,5 \cdot 0,1} = \frac{40}{5} = 8 \text{ (A)}.$$

Odpowiedź: $I = 8 \text{ A}$; od nas.



Podsumowanie

Siłę, z którą pole magnetyczne działa na przewodnik z prądem, nazywamy siłą Ampere'a. Wartość siły Ampere'a wyznacza się ze wzoru: $F_A = BIl \sin \alpha$, gdzie B – indukcja pola magnetycznego; I – natężenie prądu w przewodniku; l – długość aktywnej części przewodnika; α – kąt między kierunkiem wektora indukcji magnetycznej i kierunkiem prądu w przewodniku.

Kierunek siły Ampere'a określamy za pomocą reguły lewej dłoni: jeżeli lewą dłoń ustawić tak, aby linie pola magnetycznego „przebiegały” wewnętrzną stroną dłoni, a cztery wyprostowane palce wskazywały kierunek prądu w przewodniku, to wychylony o 90° kciuk wskaże kierunek siły Ampere'a.



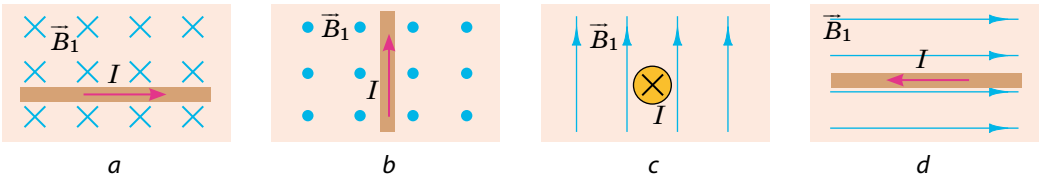
Pytania kontrolne

1. Opisz doświadczenie, które potwierdza działanie pola magnetycznego na przewodnik z prądem, znajdujący się w tym polu.
2. Podaj definicję siły Ampere'a.
3. Od czego zależy siła Ampere'a? Podaj wzór na obliczanie siły Ampere'a.
4. Opisz sposób ustawiania przewodnika w przypadku największej siły Ampere'a. W jakim przypadku pole magnetyczne nie działa na przewodnik?
5. Podaj regułę określenia kierunku siły Ampere'a.
6. Podaj wzór wyznaczenia wartości bezwzględnej indukcji magnetycznej.
7. Podaj definicję jednostki indukcji magnetycznej.



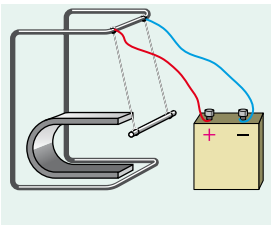
Ćwiczenie nr 4

- Określ kierunek siły Ampere'a dla każdego z wypadków *a–d*, przedstawionych na rys. 1.

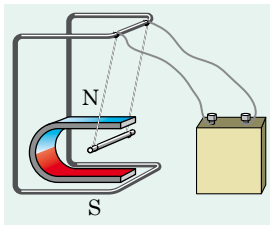


Rys. 1

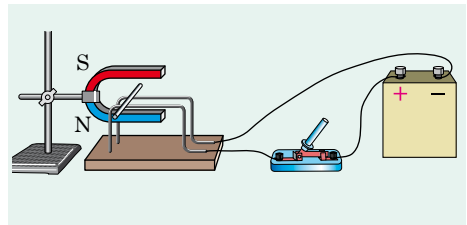
- W przewodniku prostoliniowym o długości 60 cm płynie prąd o natężeniu 1,2 A. Wyznacz największą i najmniejszą wartość siły Ampere'a, która działa na przewodnik, przy różnych jego położeniach w jednorodnym polu magnetycznym o indukcji 1, 5 T.
- Na rys. 2 i rys. 3 przedstawiono przewodnik z prądem, który wychyla się w polu magnetycznym. Określ: a) bieguny magnesu (rys. 2); b) bieguny źródła prądu (rys. 3).
- Na prostoliniowy przewodnik z prądem 2, 5 A, umieszczony w jednorodnym polu magnetycznym o indukcji 40 mT, działa siła Ampere'a 60 mN. Wyznacz: a) długość przewodnika, jeżeli znajduje się on pod kątem 30° do linii indukcji magnetycznej; b) pracę, wykonywaną przez pole magnetyczne, jeżeli pod działaniem siły Ampere'a przewodnik przesuwa się o 0, 5 m w kierunku działania siły.
- Uzasadnij, że dwa przewodniki, w których płynie prąd w kierunkach przeciwnych odpychają się.
- Poziomy przewodnik o masie 5 g i długości 10 cm leży na rdzeniach w pionowym polu magnetycznym o indukcji 25 mT (rys. 4). Określ: a) w jakim kierunku będzie poruszać się przewodnik, jeżeli zamknąć obwód elektryczny; b) współczynnik tarcia, jeżeli przy natężeniu prądu w przewodniku 5 A, przewodnik porusza się prostoliniowo jednostajnie.
- Ułóż zadanie, odwrotne do zadania 2 w § 4.



Rys. 2



Rys. 3

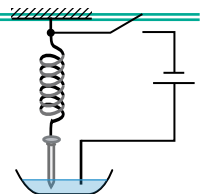


Rys. 4



Doświadczenie

„Słony silnik”. Na miękką metalową sprężynę zawiesz żelazny gwóźdź; ostrze gwoździa umieść w roztworze soli kuchennej tak, aby tylko dotykało do cieczy (patrz rys. 5). Zmontuj obwód elektryczny, jak na rys. 5. Zamknij obwód – gwóźdź zacznie drgać, rozerwij obwód – drgania ustaną. Wyjaśnij obserwowane zjawisko.



Rys. 5

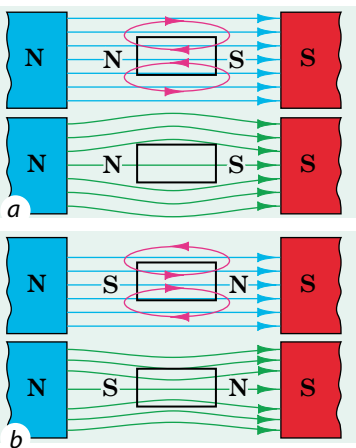


§ 5. MAGNETYCZNE WŁAŚCIWOŚCI SUBSTANCJI. HIPOTEZA AMPERE'A

Prawdopodobnie, każdy z was widział magnesy i badał ich właściwości. Przypomnij sobie: podnosisz magnes do różnych drobnych ciał i widzisz, że niektóre z nich (gwoździe, spinacze, pineski) magnes podnosi, a inne (kawałeczki kredy, monety miedziane i aluminiowe) nie reagują na magnes. Dlaczego tak jest? Czy w rzeczywistości pole magnetyczne nie działa na niektóre substancje? O tym dowiesz się z tego paragrafu.



Rys. 5.1. Na skutek działania pola elektrycznego ujemnie naładowanej pałeczki bliższa do niej część sfery przewodzącej uzyskuje ładunek dodatni



Rys. 5.2. Wzorce diamagnetyka (a) i paramagnetyka (b) w zewnętrznym polu magnetycznym: *linie czerwone* – linie pola magnetycznego, wytworzonego wzorcem; *linie niebieskie* – linie magnetyczne zewnętrznego pola magnetycznego; *linie zielone* – linie otrzymanego pola magnetycznego

1 Porównujemy działanie na substancję pól elektrycznego i magnetycznego

Badając w klasie 8. zjawiska elektryczne, dowiedziałeś się, że na skutek wpływu zewnętrznego pola elektrycznego zachodzi podział ładunków elektrycznych w środku ciała nienaładowanego (rys. 5.1). W wyniku tego w ciele powstaje własne pole elektryczne, skierowane przeciwko zewnętrznemu. Dlatego pole elektryczne w substancji zawsze jest słabsze.

Substancja również zmienia pole magnetyczne. Są substancje, które (jak w wypadku z polem elektrycznym) zmniejszają pole magnetyczne w środku samych siebie. Nazywamy ich *diamagnetykami*. Wiele substancji, na odwrót, wzmacniają pole magnetyczne – to są *paramagnetyki* i *ferromagnetyki*.

Dzieje się tak przez to, że dowolna substancja, umieszczona w polu magnetycznym, namagnesowuje się, czyli wytwarza własne pole magnetyczne. Więc indukcja magnetyczna pola jest różna dla różnych substancji.

2 Dowiadujemy się o słabo namagnesowujących się substancjach

Substancje, które namagnesowują się, wytwarzając słabe pole magnetyczne, indukcja magnetyczna którego jest o wiele mniejsza od indukcji magnetycznej zewnętrznego pola magnetycznego (czyli pola, które spowodowało namagnesowanie), nazywamy substancjami *słabo namagnesowanymi*. Do takich substancji należą diamagnetyki i paramagnetyki.

Diamagnetyki (z grec. *dia* – rozbieżność) namagnesowują się, wytwarzając słabe pole magnetyczne, skierowane przeciwnie do pola zewnętrznego (rys. 5.2, a). Dlatego diamagnetyki słabo zmieniają zewnętrzne pole magnetyczne: indukcja magnetyczna pola magnetycznego w środku diamagnetyka (B_d) jest nie wiele mniejsza

od indukcji magnetycznej zewnętrznego pola magnetycznego (B_0):

$$B_d \leq B_0; \frac{B_d}{B_0} \approx 0,9998$$

Jeżeli diamagnetyk umieścić w polu magnetycznym, będzie on wypychany z pola (rys. 5.3).

? Zobacz rys. 5.2, *a* i wyjaśnij, dlaczego substancja diamagnetyczna jest wypychana z pola magnetycznego.

Do diamagnetyków należą gazy szlachetne (hel, neon i in.), dużo metali (złoto, miedź, srebro, rtęć), azot molekularny, woda i in. Ciało człowieka jest diamagnetykiem przez to, że prawie 78 % składa się z wody.

Paramagnetyki (z grec. *para* – obok) namagnesowują się, wytwarzając *slabe pole magnetyczne, skierowane w stronę zewnętrznego pola magnetycznego* (rys. 5.2, *b*). Paramagnetyki słabo wzmacniają zewnętrzne pole: indukcja magnetyczna pola w środku paramagnetyka (B_p) jest nie wiele większa od indukcji magnetycznej zewnętrznego pola magnetycznego (B_0):

$$B_p \geq B_0; \frac{B_p}{B_0} \approx 1,001$$

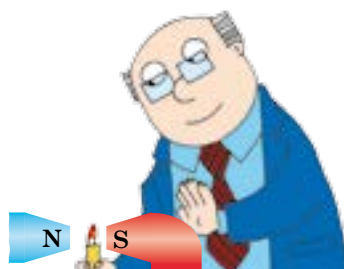
Do paramagnetyków należy tlen, platyna, glin, sole metali i in. Jeżeli paramagnetyk umieścić w polu magnetycznym, to będzie on wciągany do pola.

3 Badamy ferromagnetyki

Jeżeli słabo namagnesowane substancje wyciągnąć z pola magnetycznego, to ich namagnesowanie zanika, w porównaniu do silnie *namagnesowanych substancji – ferromagnetyków*.

Ferromagnetyki (z łac. *ferrum* – żelazo) – substancje lub materiały, które pozostają namagnesowane i bez pola magnetycznego.

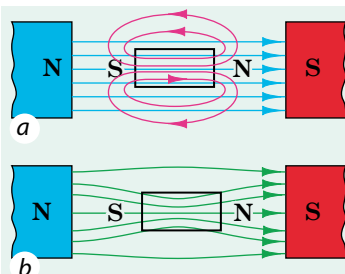
Ferromagnetyki namagnesowują się, wytwarzając *silne pole magnetyczne, skierowane w stronę zewnętrznego pola magnetycznego* (rys. 5.4, 5.5, *a*). Jeżeli sporządzone z ferromagnetyka ciało umieścić w polu magnetycznym, to będzie ono wciągane do pola (rys. 5.5, *b*).



Rys. 5.3. Przez to, że produkty spalania są cząstkami diamagnetycznymi, płomień świecy jest wypychany z pola magnetycznego



Rys. 5.4. Gwóźdź żelazny namagnesowuje się w polu magnetycznym w taki sposób, że ostrze gwóźdźa, znajdującego się obok północnego bieguna magnesu, staje się biegunem południowym, dlatego gwóźdź przyciąga się do magnesu



Rys. 5.5. Ferromagnetyki wytwarzają silne pole magnetyczne, skierowane w stronę zewnętrznego pola magnetycznego (*a*); linie indukcji magnetycznej jakby są wciągane do wzorca ferromagnetycznego (*b*)



Rys. 5.6. Do zadania § 5

Temperatura Curie dla niektórych ferromagnetyków

Substancja	Temperatura, °C
Gadolin	+19
Żelazo	+770
Kobalt	+1115
Neodymowy magnes NdFeB	+320
Nikiel	+354

(patrz tabelę) ferromagnetyczne właściwości zanikają i substancje stają się paramagnetykami.

4

Hipoteza Ampere'a

Ampere na podstawie swoich doświadczeń z przewodnikiem z prądem (patrz rys. 1.1) i zwojnicy z prądem (patrz rys. 1.3), podał swoją hipotezę o wyjaśnieniu magnetycznych właściwości substancji.

Ampere przypuścił, że w środku substancji istnieją prądy kołowe i każdy z nich jest maleńką zwojnicą, czyli magnesikiem. Magnes trwały składa się z dużej ilości takich magnesików, skierowanych w określonym kierunku.

Mechanizm namagnesowania substancji Ampere wyjaśnił w taki sposób. W ciele, które nie jest namagnesowane, prądy kołowe skierowane są chaotycznie (rys. 5.7, a). Zewnętrzne pole magnetyczne próbuje skierować prądy kołowe tak, aby kierunek pola magnetycznego każdego prądu miał kierunek zewnętrznego pola magnetycznego (rys. 5.7, b). W niektórych substancji taki kierunek prądów (namagnesowanie) pozostaje po usunięciu zewnętrznego pola magnetycznego. Więc, wszystkie zjawiska magnetyczne Ampere wyjaśnił oddziaływaniem wzajemnym poruszających się cząstek naładowanych.

? Wyjaśnij, dlaczego magnes trwały przyciąga tylko ciała, sporządzone z ferromagnetyków (rys. 5.6)?

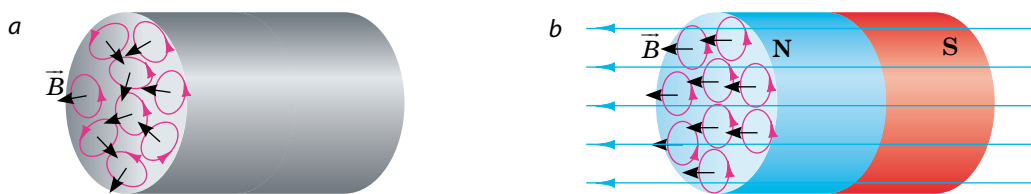
Do ferromagnetyków należą: żelazo, nikiel, kobalt i niektóre inne stopy metaliczne. Ferromagnetyki poważnie wzmacniają zewnętrzne pole magnetyczne w środku ferromagnetyków (B_0):

$$B_f \gg B_0$$

Kobalt wzmacnia pole magnetyczne 175 razy, nikiel – 1120 razy, stal transformatorowa (ma 96–98 odsetków żelaza) – 8000 razy.

Substancje ferromagnetyczne dzielimy na dwa typy. Substancje ferromagnetyczne, które pozostają namagnesowane przez dłuższy czas, nazywamy *twardymi*. Wykorzystuje się je dla sporządzania magnesów trwałych. Substancje ferromagnetyczne, które łatwo namagnesowują się, nazywamy *magnetycznie miękkimi*. Używane są dla sporządzenia rdzeni elektromagnesów, silników, transformatorów, czyli urządzeń, które podczas pracy przemagnesowują się (o budowie i zasadzie działania takich urządzeń dowiesz się później).

Zwróć uwagę! Przy osiągnięciu określonej temperatury, zwanej punktem (*temperaturą Curie*



Rys. 5.7. Mechanizm namagnesowania ciał zgodnie z hipotezą Amperé'a: *a* – prądy kołowe skierowane bezładnie, ciało jest nienamagnesowane; *b* – prądy kołowe skierowane w określonym kierunku, ciało namagnesowane

Hipoteza Amperé'a stała się podstawą tworzenia teorii magnetyzmu. Dzięki hipotezie Amperé'a można wyjaśnić znane właściwości ferromagnetyków. Jednak nie możliwie wyjaśnić naturę dia- i paramagnetyzmu i to, dlaczego tak mała ilość substancji jest ferromagnetykami. Podstawą współczesnej teorii magnetyzmu są zasady mechaniki kwantowej i teorii względności A. Einsteina.



Podsumowanie

Dowolna substancja, umieszczona w polu magnetycznym, namagnesowuje się – wytwarza własne pole magnetyczne.

Diamagnetyki	Paramagnetyki	Ferromagnetyki
Namagnesowują się, wytwarzając słabe pole magnetyczne, skierowane przeciwnie do zewnętrznego pola magnetycznego	Namagnesowują się, wytwarzając słabe pole magnetyczne, skierowane w stronę pola magnetycznego	Namagnesowują się, wytwarzając silne pole magnetyczne, skierowane w stronę zewnętrznego pola; pozostają namagnesowane, gdy zewnętrzne pole zanika
gazy szlachetne, złoto, miedź, rtęć, srebro, azot, woda i in.	tlen, platyna, glin, stopy metaliczne	żelazo, nikiel, kobalt, neodym, różne stopy
nieznacznie osłabiają zewnętrzne pole magnetyczne, są wypychane z niego	słabo wzmacniają zewnętrzne pole magnetyczne, są wciągane do pola	wzmacniają zewnętrzne pole magnetyczne w setki i tysiące razy, są wciągane do pola



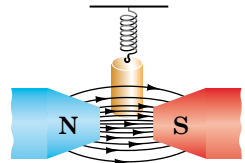
Pytania kontrolne

1. Dlaczego substancja zmienia pole magnetyczne? **2.** Podaj przykłady diamagnetyków; paramagnetyków; ferromagnetyków. **3.** Jak jest skierowane własne pole magnetyczne diamagnetyka? paramagnetyka? ferromagnetyka? **4.** Jak zachowuje się ciało sporządzone z diamagnetyka, paramagnetyka, ferromagnetyka umieszczone w zewnętrznym polu magnetycznym? **5.** Dlaczego substancje ferromagnetyczne są silnie namagnesowane? **6.** Podaj przykłady wykorzystania substancji magnetycznie miękkich, twardych. **7.** W jaki sposób A. Amper wyjaśnił namagnesowanie ferromagnetyków?



Ćwiczenie nr 5

1. Są dwa typy stali – magnetycznie miękka i twarda. Jaka stal jest bardziej zawodna dla sporządzenia magnesów trwałych?
2. Jakie właściwości magnetyczne ma: a) żelazo w $900\text{ }^{\circ}\text{C}$? b) kobalt w $900\text{ }^{\circ}\text{C}$?
3. Walec miedziany jest zawieszony na sprężynie i umieszczony w silnym polu magnetycznym (rys. 1). Czy będzie zmieniać się wydłużenie sprężyny?
4. Dlaczego na magniesie trwałym można utrzymywać łańcuszek przedmiotów żelaznych (rys. 2)?
5. W naczyniu pod wysokim ciśnieniem znajduje się mieszanina gazów (azotu i tlenu). Zaproponuj sposób dzielenia mieszaniny na osobne komponenty.
6. Za pomocą dodatkowych źródeł informacji, dowiedz się o lewitacji magnetycznej. Jakie są perspektywy jej stosowania?



Rys. 1



Rys. 2



Doświadczenie

Za pomocą silnego magnesu zbadaj jego wzajemne oddziaływanie z ciałami, sporządzonymi z różnych materiałów (na przykład z miedzi, glinu, żelaza).

i

§ 6. ELEKTROMAGNESY ORAZ ICH STOSOWANIE

Szkolny dzwonek elektryczny, silnik elektryczny, dźwig w składnicy złomu... Jak są powiązane ze sobą takie urządzenia? Człowiek, uczący się fizyki, odpowie, że w każdym urządzeniu stosuje się elektromagnes. Więc, wyjaśnijmy, czym jest elektromagnes i jak on pracuje.

1 Wyjaśnijmy, od czego zależy magnetyczne działanie zwojnicy z prądem

Zmontujemy obwód elektryczny, który zawiera źródło prądu, zwojnicę, opornik i amperomierz. Nad zwojnicą na siłomierzu zawiesimy walec żelazny (rys. 6.1). Jeżeli zamknąć obwód, walec namagnesuje się w polu magnetycznym zwojnicy i zostanie do niej przyciągnięty, rozciągając przy tym sprężynę siłomierza.



Rys. 6.1. Badanie działania magnetycznego zwojnicy z prądem

Walec będzie przyciągany do zwojnicy tym bardziej, im bardziej silne jest jej działanie magnetyczne.

Zmieniając za pomocą opornika suwakowego natężenie prądu w zwojnicy zauważymy, że przy zwiększeniu natężenia prądu walec przyciąga się silniej, o czym świadczy większe rozciąganie sprężyny siłomierza.

Przy zwiększeniu natężenia prądu w zwojnicy jej magnetyczne działanie wzmacnia się.

Zamieniamy zwojnicę na inną – z większą ilością zwojów. Zobaczymy, że przy tym samym natężeniu prądu wydłużenie sprężyny siłomierza zwiększy się. *Przy zwiększeniu liczby zwojów w zwojnicy jej magnetyczne działanie wzmacnia się.*

W środku zwojownicy umieszczamy **rdzeń** – grubą sztabkę żelazną. Włączamy prąd – walec nachylił się do zwojownicy i „przyczepił się” do rdzenia. *Magnetyczne działanie zwojownicy wzmacnia się, gdy do jej środka wprowadzamy rdzeń ferromagnetyczny.*

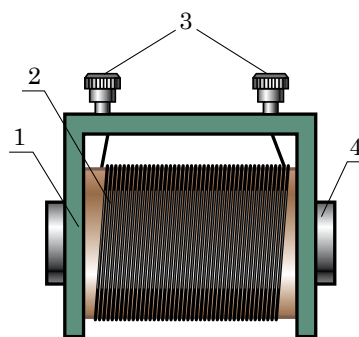
- ?** Przypomnij magnetyczne właściwości substancji i wyjaśnij, dlaczego rdzeń sporządza się z substancji ferromagnetycznych. Czy zwiększy się magnetyczne działanie zwojownicy, jeżeli rdzeń sporządzić z miedzi czy glinu?

2 Badamy budowę elektromagnesu i jego wykorzystanie

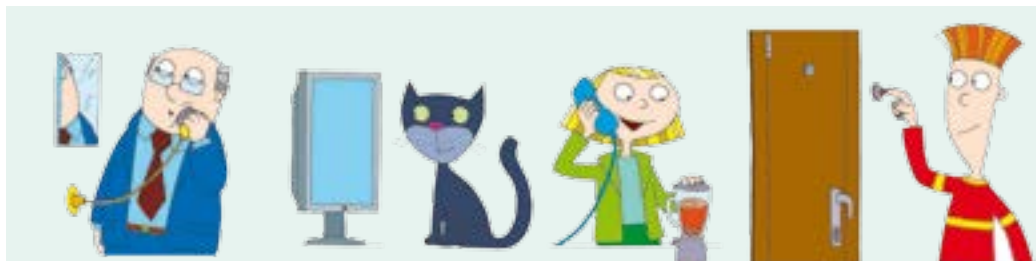
Zwojnicę z rdzeniem z materiału ferromagnetycznego w środku, nazywamy **elektromagnesem**.

Zapoznamy się z budową elektromagnesu (rys. 6.2). Dowolny magnes składa się z *rurki* (1), wykonanej z materiału izolacyjnego. Na rurkę nawinięty jest drut izolowany – *uzwojenie* elektromagnesu (2). Końce drutu doprowadza się do specjalnych *zacisków* (3), za pomocą których elektromagnes łączy się ze źródłem prądu. W środku rurki znajduje się *rdzeń* (4), sporządzony ze stali miękkiej. Zwykle elektromagnes ma kształt podkowiasty, dlatego, że w tym wypadku działanie magnetyczne elektromagnesu wzrasta.

Elektromagnesy są wykorzystywane na szeroką skalę w technice przez to, że ich działanie magnetyczne łatwo jest regulować – wystarczy zmienić natężenie prądu w uzwojeniu. Oprócz tego, elektromagnesy sporządza się o różnych kształtach i rozmiarach. Elektromagnesy wykorzystuje się w silnikach elektrycznych i generatorach, transformatorach i miernikach elektrycznych, telefonach, dzwonek elektrycznych, mikrofonach itd. (rys. 6.3). Z tych licznych przykładów zastosowań elektromagnesów rozpatrzmy



Rys. 6.2. Budowa elektromagnesu: 1 – rurka; 2 – uzwojenie; 3 – zaciski; 4 – rdzeń



Rys. 6.3. Elektromagnesy wykorzystywane są w wielu przyrządach codziennego użytku



Rys. 6.4. Gdy obwód zamkniemy, wiórki żelazne przyciągną się do rdzenia (a); po rozerwaniu – odpadną (b)



Rys. 6.5. Dźwig elektromagnetyczny

dokładniej dwa: w dźwigach elektromagnetycznych i przerywaczach.

3 Badamy zasadę działania dźwigu elektromagnetycznego i przerywacza

Zmontujemy obwód elektryczny, który składa się ze źródła prądu i elektromagnesu. Gdy zamkniemy obwód, to zobaczymy, że wiórki żelazne przyciągają się do rdzenia elektromagnesu, więc, możemy ich przenieść, na przykład, na inny koniec stołu (rys. 6.4).

Na takiej zasadzie pracują dźwigi elektromagnetyczne, które przenoszą ciężkie przedmioty i złom (rys. 6.5). I nie potrzebne są haki! Włączymy prąd – przedmioty żelazne przyciągają się do elektromagnesu i przenosimy je w potrzebne miejsce, wyłączymy prąd – przedmioty żelazne nie przyciągają się.

Na przedsiębiorstwach często są stosowane odbiorniki energii o natężeniu setki i tysięcy amper. Połączenie szeregowo urządzenia do zamykania i odbiornik spowoduje przepływ prądu o dużym natężeniu, co z kolei będzie niebezpieczne dla ludzi, pracujących z pilotem sterowania.

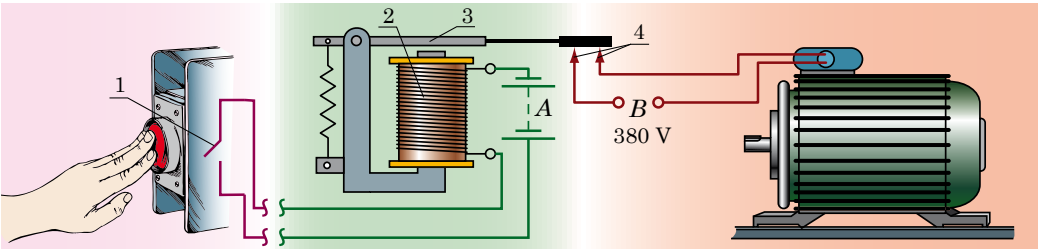
Przydadzą się wtedy **przerywacze** – urządzenia do sterowania obwodem elektrycznym (rys. 6.6). *Zwróć uwagę:* urządzenie dla zamykania (1), przymocowane do pilota sterowania i elektromagnes (2) podłączone są do źródła prądu *A* o małym napięciu na wyjściu, a odbiornik (na rys. 6.6 to silnik elektryczny) jest zasilany od źródła *B* o dużej mocy.



Podsumowanie

Magnetyczne działanie zwojniczy z prądem wzmocni się, jeżeli zwiększyć liczbę zwojów; zwiększyć natężenie prądu; wprowadzić do środka zwojniczy rdzeń ferromagnetyczny.

Zwojnicę ze rdzeniem stalowym w środku, nazywamy elektromagnesem. Elektromagnesy są powszechnie stosowane w technice. Jest to uwarunkowane tym, że magnetyczne działanie elektromagnesu łatwo regulować, zmieniając natężenie prądu w uzwojeniu, a także tym, że elektromagnesy mogą mieć różne kształty i wymiary.



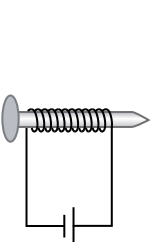
Rys. 6.6. Zasada działania przerywacza elektromagnetycznego. Przy zamykaniu wyłącznika (1) (naciskamy przycisk), w uzwojeniu elektromagnesu (2) płynie słaby bezpieczny prąd. Na skutek tego rdzeń żelazny przyciąga ku sobie stojan (3). Gdy stojan opuszcza się i zamyka przyciski (4), zamyka się obwód silnika elektrycznego, który zużywa prąd o większym natężeniu.

Pytania kontrolne

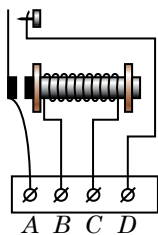
1. Od czego zależy magnetyczne działanie zwojnicy z prądem? Opisz doświadczenie, które potwierdza odpowiedź.
2. Co nazywamy elektromagnesem? Opisz jego budowę.
3. Dlaczego elektromagnesy są powszechnie stosowane w technice?
4. Wyjaśnij zasadę działania dźwigu elektromagnetycznego.
5. W jakim celu jest wykorzystywany przerywacz? Opisz zasadę jego działania.

Ćwiczenie nr 6

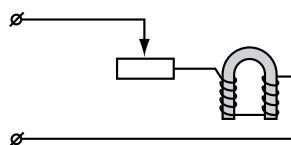
1. Zamiast magnetycznie miękkiej stali do sporządzenia rdzenia elektromagnesu wykorzystano substancję twardą. Jakie są minusy takiego magnesu?
2. Nawijamy na gwóźdź żelazny drut izolowany i przyłączamy jeden z jego końców do baterii ogniów galwanicznych. Otrzymujemy elektromagnes (rys. 1). Określ bieguny elektromagnesu.
3. Do jakich zacisków przerywacza (rys. 2) należy przyłączyć źródło słabego prądu?
4. Jak zmieni się siła podnoszenia elektromagnesu, jeżeli przesuniemy suwak opornika w prawo (rys. 3)? Odpowiedź uzasadnij.
5. Na rys. 4 podano schemat budowy automatu, który pracuje przy określonej temperaturze. Podaj główne części urządzenia, wyjaśnij zasadę działania. Gdzie można stosować takie urządzenia?



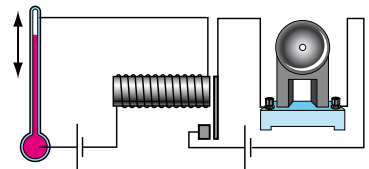
Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3



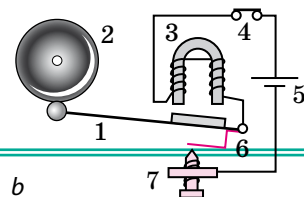
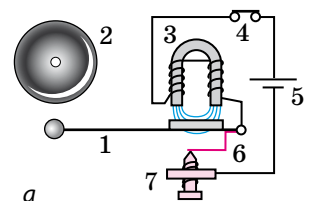
Rys. 4

6. Za pomocą rys. 5, wyjaśnij, jak pracuje dzwonek elektryczny. Jeżeli nie dasz rady, to zwróć się do dodatkowych źródeł informacji.
7. Wykorzystaj dodatkowe źródła informacji i dowiedz się o technologii separacji magnetycznej i o tym, w jakich urządzeniach stosuje się dana technologia. Przygotuj krótką informację.
8. Podaj charakterystykę siły jako wielkości fizycznej: co ona charakteryzuje, jakim symbolem oznacza się, jest wielkością skalarną czy wektorową, w jakich jednostkach Układu SI jest mierzona?



Doświadczenie

Sporządź najprostszy elektromagnes: nawiń na gwóźdź żelazny izolowany drut i przyłącz go do baterii ogniów galwanicznych (patrz rys. 1). Rozerwij obwód, umocuj elektromagnes poziomo na określonej odległości od powierzchni stołu. Wymieszaj drobne kawałeczki papieru, ziarna ryżu i drobne przedmioty żelazne (lepiej wiórki). Zamknij obwód. Powoli sypiąc mieszaninę przez główkę gwoździa, wyodrębni przedmioty żelazne.



Rys. 5. Schemat działania dzwonka elektrycznego: 1 – młoteczek; 2 – kłoz dzwonka; 3 – magnes podkowiasty; 4 – przycisk; 5 – źródło prądu; 6 – sprężyna, która dotyka do śruby 7

PRACA LABORATORYJNA NR 1



Temat. Konstruowanie elektromagnesu i sprawdzanie jego działania.

Cel: nauczyć się sporządzać najprostszy elektromagnes, wyjaśnić od czego zależy jego magnetyczne działanie.

Przyrządy: amperomierz, ciało-próbnik lub siłomierz, igła magnetyczna lub kompas, izolowany drut miedziany, źródło prądu stałego, dwa pręty (lub wielkie gwoździe), wiórki żelazne, opornik suwakowy, wyłącznik, przewody połączeniowe, statyw (w przypadku wykorzystania siłomierza).

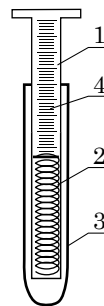
Wiadomości teoretyczne

Dla określenia magnetycznego działania elektromagnesu wykorzystaj ciało – *próbnik* (rys. 1). Składa się ono z płytki stalowej (1), przymocowanej za pomocą sprężyny (2) w środku obudowy plastikowej (3). Gdy podnieść ciało do elektromagnesu, to jego pole będzie działać na płytkę ciała. Płytkę będzie przyciągać się do elektromagnesu tym bardziej, im silniejsze będzie jego działanie magnetyczne. Wartość siły przyciągania określa się według skali naniesionej na płytkę stalową ciała. W wypadku, gdy ciała takiego nie ma, magnetyczne działanie elektromagnesu można ocenić za pomocą *siłomierza* (patrz rys. 6.1).

WYKONANIE PRACY

II Przygotowanie się do doświadczenia

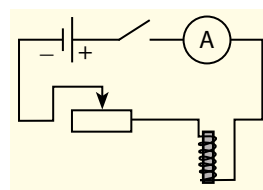
- Przed początkiem pracy, przypomnij:
 - wymagania bezpieczeństwa podczas pracy z obwodami elektrycznymi;
 - zasady, których należy przestrzegać podczas mierzenia natężenia prądu amperomierzem;
 - jak zależy magnetyczne działanie elektromagnesu od natężenia prądu, ilości zwojów i rdzenia żelaznego.
- Określ wartość podziałki skal amperomierza i siłomierza.



Rys. 1

▶ Doświadczenie

- Sporządź dwa elektromagnesy o różnej ilości zwojów w uzwojeniu. Weź dwa jednakowe pręty i nawiń na nich różną ilość zwojów izolowanego drutu miedzianego: na jeden pręt – 20 zwojów, na drugi – 40.
- Weź elektromagnes o większej ilości zwojów, zmontuj obwód elektryczny, zgodnie ze schematem pokazanym na rys. 2.
- Zamknij obwód i przekonaj się, że elektromagnes przyciąga wiórki żelazne, czyli przejawia właściwości magnetyczne.
- Za pomocą igły magnetycznej lub kompasu określ bieguny elektromagnesu. Opisz swoje działania.
- Wyjaśnij, od czego zależy działanie magnetyczne elektromagnesu.
 - Za pomocą opornika ustaw w uzwojeniu elektromagnesu o większej ilości zwojów natężenie 0,5 A, następnie 1,5 A. Porównaj działanie magnetyczne elektromagnesu przy różnych wartościach natężenia prądu w uzwojeniu.
 - Wyciągnij pręt z uzwojenia i ustaw w uzwojeniu natężenie prądu 1,5 A. Wyjaśnij, jak wpływa rdzeń na magnetyczne działanie elektromagnesu.
 - Zmontuj obwód elektryczny (patrz rys. 2) z elektromagnesem o mniejszej ilości zwojów. Za pomocą opornika ustaw w obwodzie prąd o natężeniu 1,5 A. Określ, jak wpływa zmniejszenie ilości zwojów na magnetyczne działanie elektromagnesu.



Rys. 2

□ Analiza wyników doświadczenia

Przeanalizuj doświadczenie i jego wyniki. Wyciągnij wniosek, w którym zaznacz, jak zależy magnetyczne działanie elektromagnesu od natężenia prądu, ilości zwojów w uzwojeniu, rdzenia żelaznego.

+ Zadanie twórcze

Czy można nawinąć uzwojenie elektromagnesu tak, aby przy przyłączeniu jego do źródła prądu na obu końcach elektromagnesu otrzymać bieguny południowe? Sprawdź siebie doświadczalnie.



§ 7. SILNIKI ELEKTRYCZNE. MIERNIKI ELEKTRYCZNE. GŁOŚNIK

Badania fizyczne, przeprowadzane często tylko przez „interes naukowy”, w wypadku udanego zakończenia często dają początek nowemu rozwojowi techniki. Tak stało się z badaniem zjawisk elektromagnetycznych. Jeden z działaczy państwowych zapytał M. Faradaya: „Jak Pan myśli, czy będzie elektryczność pożyteczna?” Na co Faraday z uśmiechem odpowiedział: „Przez kilka lat będziecie płacić za zużycie energii elektrycznej!” Minął czas, obecnie nasze życie jest nie możliwe bez, na przykład silników elektrycznych – ekologiczne czystych, wygodnych urządzeń. Jak pracują urządzenia elektryczne dowiesz się z tego paragrafu.

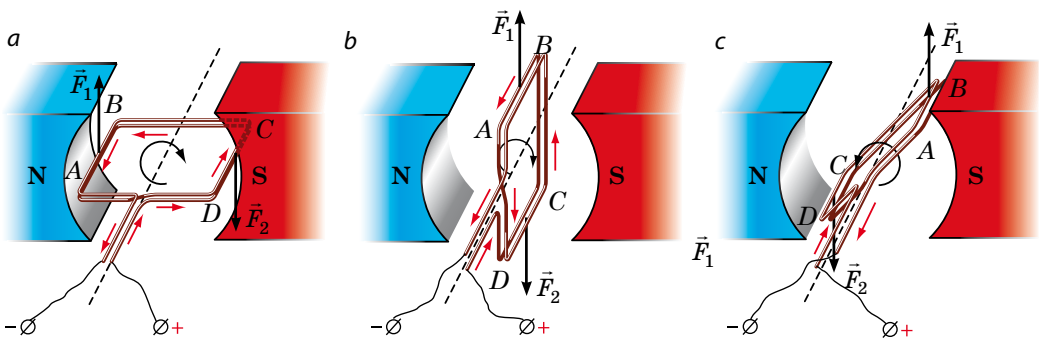
1 Badamy działanie pola magnetycznego na ramkę z prądem

Lekką prostokątną ramkę, wykonaną z kilku zwojów drutu izolowanego, umieszczamy między biegunami magnesu tak, aby mogła ona swobodnie obracać się wokół osi poziomej.

Obserwujemy jej położenie po włączeniu prądu elektrycznego (rys. 7.1, *a*). Ramka obróci się i ustawi się tak, jak pokazano na rys. 7.1, *b*. Jest to położenie zwane położeniem równowagi ramki.

Wyjaśnijmy, *dlaczego ramka porusza się*. Zrobimy to za pomocą reguły lewej dłoni, określimy kierunek siły Ampere’a, działającej na każdy bok ramki na początek doświadczenia. Z rys. 7.1, *a* widać, że siła Ampere’a \vec{F}_1 , działająca na bok *AB* jest skierowana do góry, a siła Ampere’a \vec{F}_2 , działająca na bok *CD*, skierowana jest w dół. Więc, obie siły obracają ramkę zgodnie z ruchem wskazówki zegara.

Wyjaśnijmy, *dlaczego ramka przestała się poruszać*. Jest tak dlatego, że po przechodzeniu przez ramkę położenia równowagi siły Ampere’a obracają ją w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówki zegara (rys. 7.1, *b*). Więc, ramka zacznie poruszać się w kierunku przeciwnym, przejdzie przez położenie równowagi i kierunek jej ruchu zmieni się. W końcu ramka się zatrzyma.



Rys. 7.1. Badanie działania pola magnetycznego na ramkę z prądem (kierunek prądu oznaczono strzałkami czerwonymi):

a – siły Ampere’a (\vec{F}_1 i \vec{F}_2) obracają ramkę *ABCD* zgodnie z ruchem wskazówki zegara;

b – w położeniu równowagi siły Ampere’a nie obracają ramkę, a rozciągają;

c – siły Ampere’a obracają ramkę przeciw ruchowi wskazówki zegara.

? Stosując regułę lewej dłoni, przekonaj się w tym, że dla każdego położenia ramki, podanego na rys. 7.1, siła \vec{F}_1 , działająca na bok AB ramki, jest skierowana do góry, a siła \vec{F}_2 , działająca na bok CD ramki, – w dół.

2 Zapoznamy się, jak pracuje silnik prądu stałego

Obrót ramki z prądem w polu magnetycznym wykorzystano przy konstruowaniu *silników elektrycznych*.

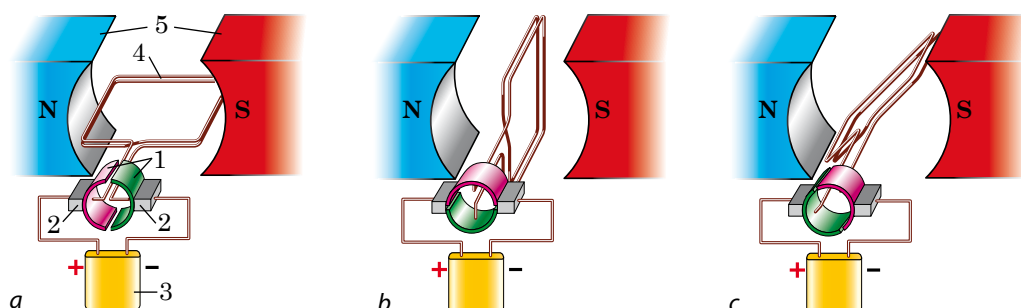
Silnik elektryczny – jest to urządzenie, w którym energia elektryczna przemienia się na energię mechaniczną

Żeby zrozumieć, jak pracuje silnik elektryczny prądu stałego, wyjaśnijmy, w jaki sposób można zmusić ramkę obracać się bez przerwy w jednym kierunku. Łatwo jest domyślić się: dlatego trzeba, żeby w moment przechodzenia przez ramkę położenia równowagi, kierunek prądu w ramce zmieniał się na przeciwny.

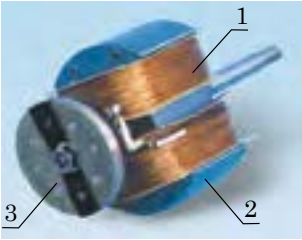
Urządzenie, które automatycznie zmienia kierunek prądu w ramce, nazywamy **komutatorem**.

Na rys. 7.2 pokazany jest model, za pomocą którego można zapoznać się z zasadą działania komutatora. Komutator składa się z dwóch półpierścieni (1), do każdego z których jest przymocowana szczotka metalowa (2). Półpierzście sprowadza się z przewodnika, dwie połówki którego są odizolowane od siebie. Szczotki służą do doprowadzenia napięcia od źródła prądu (3) do ramki (4), która lekko obraca się wokół osi poziomej i znajduje się między biegunami potężnego magnesu (5). Jedna szczotka jest połączona z dodatnim biegunem źródła prądu, druga – z ujemnym.

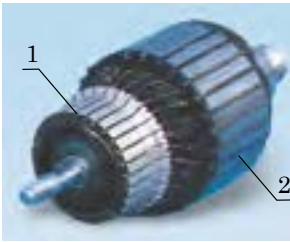
Po zamykaniu obwodu ramka pod działaniem sił Amperę'a zaczyna obracać się zgodnie z ruchem wskazówki zegara (rys. 7.2, a). Półpierzście komutatora obracają się razem z ramką, a szczotki pozostają nieruchome, dlatego po przejściu położenia równowagi do szczotek zostaną przyciśnięte inne półpierzście (rys. 7.2, c). Kierunek prądu w ramce zmienia się na przeciwny, kierunek obrotu ramki pozostanie ten sam – w kierunku ruchu wskazówki zegara.



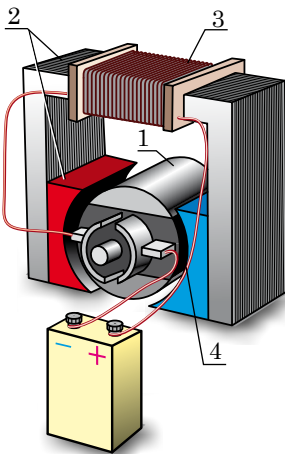
Rys. 7.2. Schemat, który przedstawia zasadę działania komutatora (a). Po przechodzeniu położenia równowagi (b) szczotki zostaną przyciśnięte do innych półpierzścieni (c), dlatego kierunek prądu w ramce zmienia się na przeciwny



Rys. 7.3. Wirnik silnika z jednym uzwojeniem:
1 – uzwojenie; 2 – rdzeń;
3 – półpierścienie



Rys. 7.4. Wirnik silnika z dwunastu uzwojeniami:
1 – płyty komutatora,
2 – uzwojenie z rdzeniem (stojan)



Rys. 7.5. Model silnika elektrycznego prądu stałego:
1 – wirnik; 2 – stojan;
3 – uzwojenie stojana;
4 – komutator

❓ Dla położenia a i b ramki (patrz rys. 7.2), określ kierunki sił Ampere'a, działających na boki ramki. Udowodnij, że w obu wypadkach siły Ampere'a będą obracać ramkę zgodnie z ruchem wskazówek zegara.

Więc, do sporządzania silnika elektrycznego będą potrzebne: 1) magnes trwały lub elektromagnes; 2) ramka przewodząca; 3) źródło prądu; 4) komutator.

3 Zwiększamy moc silnika elektrycznego

Siły Ampere'a, które wywołują obrót ramki, są wprost proporcjonalne do długości przewodnika. Dlatego, dla zwiększenia mocy silnika elektrycznego, jego uzwojenie sporządza się z dużej ilości zwojów drutu. Zwoje umieszcza się w specjalnych miejscach bocznej powierzchni rdzenia – walca stalowego. Rdzeń z uzwojeniem jest **wirnikiem** (z łac. *rotare* – obracać się) silnika (rys. 7.3).

Dla zabezpieczenia równomiernego obrotu wirnika stosują wiele uzwojeń, osadzonych na wspólnym rdzeniu. Komutator takiego silnika ma nie dwa półpierścieni, a dużo płyt miedzianych, umocowanych na odizolowanym bębnie (rys. 7.4).

Współczesne silniki elektryczne (rys. 7.5) zamiast magnesów trwałych posiadają elektromagnes, który jest nieruchomą częścią silnika elektrycznego, jego **stojanem** (z łac. *stator* – ten, kto nie porusza się). Uzwojenie stojana jest podłączone do tego samego źródła, co uzwojenie wirnika. Gdy w uzwojeniach wirnika i stojana płynie prąd, wirnik obraca się w polu magnetycznym stojana i silnik pracuje.

Silniki elektryczne prądu stałego są wykorzystywane w transporcie elektrycznym: tramwajach, trolejbusach, elektrowozach, samochodach elektrycznych, dla wprowadzania w ruch silników spalinowych. W przemyśle i życiu codziennym wykorzystywane są silniki prądu zmiennego.

Silniki elektryczne mają zalety w porównaniu z cieplnymi silnikami. Są mniejsze, bardziej oszczędne (sprawność około 98 %), niezawodne w wykorzystaniu (ich moc można regulować), ekologicznie czyste.

4 Zapoznamy się z zasadą działania mierników elektrycznych

Podstawą działania mierników *układu magneto-elektrycznego* – galwanometrów, amperomierzy, woltomierzy prądu stałego jest obrót ramki z prądem w polu magnetycznym magnesu trwałego.

Mechanizm pomiarowy takich przyrządów jest pokazany na rys. 7.6.

Gdy prądu w ramce (4) nie ma, sprężyny (2) utrzymują półosie (3), a więc i wskazówkę tak, że koniec wskazówki zatrzymuje się na zerze.

Jeżeli przyrząd jest podłączany do obwodu, to w ramce płynie prąd i na skutek działania sił Ampere'a ramka obraca się w polu magnetycznym magnesu trwałego (1). Razem z ramką obracają się półosie, a więc i wskazówka.

Podczas obrotu ramki sprężyny zakręcają się i powstają dodatkowe siły sprężystości. Gdy moment sił sprężystości równoważy moment sił Ampere'a, obrót zatrzymuje się, wskazówka pozostaje odchylona. Im większe jest natężenie prądu w ramce, tym o większy kąt odchyli się wskazówka, tym większe będą wskazania przyrządu.

Przyrządy układu magneto-elektrycznego są bardzo precyzyjne i czułe.

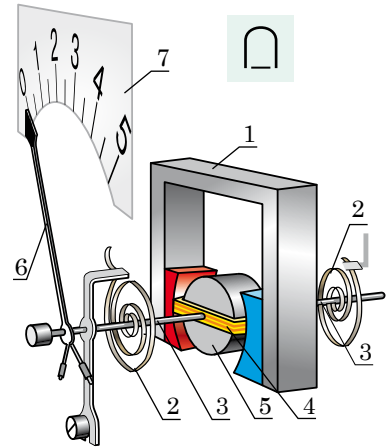
5 Porównujemy amperomierz i woltomierz

Wewnętrzna budowa woltomierza i amperomierza jest jednakowa; mają różne opory elektryczne i skale. Amperomierz włącza się w obwód szeregowo, dlatego jego opór musi być najmniejszy, inaczej natężenie prądu w obwodzie zmniejszy się. Woltomierz włącza się w obwód równoległe do urządzenia, na którym mierzy się napięcie więc, żeby natężenie w obwodzie nie zmieniało się, opór woltomierza musi być największy.

6 Zapoznamy się z zasadą działania głośnika elektrodynamicznego

Głośnik elektrodynamiczny jest urządzeniem, które przetwarza sygnał elektryczny na dźwięk.

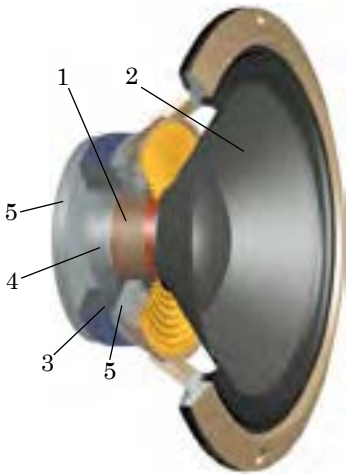
Dźwięk jest promieniowany przez ciała drgające z częstotliwością od 20 do 20 000 Hz (czyli wykonują od 20 do 20 000 drgań na sekundę)*. Ciałem drgającym w głośniku jest *dyfuzor*. Aby lepiej zrozumieć, jak pracuje dyfuzor, zbadamy budowę głośnika (rys. 7.7).



Rys. 7.6. Schemat mechanizmu pomiarowego przyrządu układu magneto-elektrycznego:

- 1 – trwały magnes nieruchomy;
- 2 – sprężyny; 3 – półosie;
- 4 – ramka, sztywnie umocowana na półosiach; 5 – rdzeń nieruchomy; 6 – wskazówka;
- 7 – skala

* Szczególniej o dźwięku dowiesz się z rozdziału III podręcznika.



Rys. 7.7. Budowa głośnika elektrodynamicznego:

- 1 – zwojnica dźwiękowa;
2 – dyfuzor; 3 – trwałe magnesy;
4 – walec; 5 – dyski

Podstawową częścią głośnika jest *zwojnica z prądem* (zwojnica dźwiękowa) (1), do której jest przytworzony dyfuzor (2), układ magnetyczny, który składa się z trwałego magnesu (3), walca stalowego (4) i dwóch dysków (5), przyległych do magnesu. Układ magnetyczny wytwarza pole magnetyczne, skierowane prostopadle do zwojów zwojnicy.

Jeżeli przez zwojnicę płynie prąd, wtedy na uzwojenia zwojnicy działają siły Amperę'a, które wprowadzają zwojnicę w ruch wzdłuż walca, – zwojnica jest wciągana do przecięcia pierścieniowego magnesu. Gdy natężenie prądu w zwojnicy zmienia się z częstotliwością dźwiękową, również zmieniają się siły Amperę'a – zwojnica raz silniej, raz słabiej jest wciągana do przecięcia (drga odpowiednio do zmiany natężenia prądu). Razem ze zwojnicą drga dyfuzor, który „pcha” powietrze, wytwarzając falę dźwiękową, – głośnik promieniuje dźwięk.



Podsumowanie

Na skutek działania sił Amperę'a ramka z prądem obraca się w polu magnetycznym. Zjawisko obrotu ramki z prądem w polu magnetycznym wykorzystuje się w pracy silników elektrycznych. Ruchoma część silnika elektrycznego – wirnik – składa się z rdzenia metalowego i ramki, prąd do której podaje się za pomocą komutatora. Wirnik obraca się w polu magnetycznym potężnego elektromagnesu – stojana.

Galwanometry, amperomierze i woltomierze – są to przyrządy układu magnetoelektrycznego. Podstawą ich działania jest obrót ramki z prądem w polu magnetycznym magnesu trwałego.



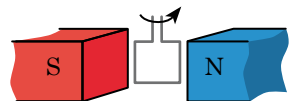
Pytania kontrolne

1. Dlaczego ramka z prądem obraca się w polu magnetycznym? Dlaczego zatrzymuje się? 2. Wymień podstawowe części silnika elektrycznego. Która z nich „odpowiada” za bezpieczny obrót wirnika silnika elektrycznego? 3. Czym jest stojan silnika elektrycznego? 4. Podaj zalety silników elektrycznych w porównaniu z cieplnymi. 5. Opisz budowę i zasadę działania mierników układu magnetoelektrycznego. 6. W czym tkwi różnica w budowie i pracy amperomierza i woltomierza? 7. Opisz budowę i zasady działania głośnika.



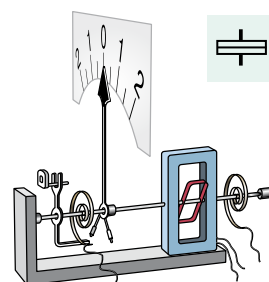
Ćwiczenie nr 7

1. Na rys. 1 jest pokazana ramka z prądem, obracająca się w polu magnetycznym magnesu trwałego. Określ kierunek prądu w ramce.

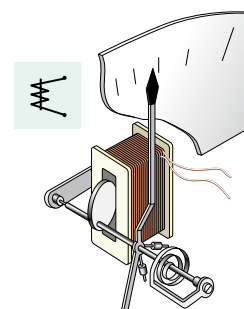


Rys. 1

2. Dlaczego przy szeregowym włączeniu woltomierza do obwodu natężenie prądu zmniejsza się?
3. Na zaciskach mierników układu magnetoelektrycznego zaznacza się biegunowość („+” i „-”). Co będzie, jeżeli przy włączeniu przyrządu nie dotrzymać się reguł włączenia?
4. Silniki elektryczne mają zalety w porównaniu do silników cieplnych. Dlaczego ludzkość nie odmówi się od wykorzystania silników cieplnych?
5. Oprócz mierników układu magnetoelektrycznego istnieją mierniki układu elektrodynamicznego i elektromagnetycznego. W miernikach układu elektrodynamicznego (rys. 2) zamiast magnesu trwałego jest wykorzystywany elektromagnes. Podstawą działania mierników układu elektromagnetycznego (rys. 3) jest zjawisko wciągania tarczy ferromagnetycznej do przecięcia nieruchomej zwojnicy z prądem. Za pomocą rys. 2 i 3 spróbuj wyjaśnić, jak pracują przyrządy. Jeżeli wyniknie potrzeba, zwróć się do dodatkowych źródeł informacji.
6. Przypomnij, czym jest prąd elektryczny. Podaj definicję. W jakich warunkach powstaje?



Rys. 2



Rys. 3

Doświadczenie

„*Eamimajster*”. Wyciągnij z zabawki silnik elektryczny i zbadaj jego budowę. Podłącz silnik do baterii ogniów galwanicznych i zwróć uwagę na kierunek obrotu wirnika. W jaki sposób można zmieniać kierunek obrotu wirnika na przeciwny? Sprawdź siebie.

§ 8. DOŚWIADCZENIA FARADAYA. ZJAWISKO INDUKCJI ELEKTROMAGNETYCZNEJ. INDUKCYJNY PRĄD ELEKTRYCZNY

Doświadczenia Ch. Oersteda i A. Ampere’a (patrz § 1) potwierdzają to, że prąd elektryczny wytwarza pole magnetyczne. A czy może być odwrotnie, aby pole magnetyczne wytwarzało prąd elektryczny? 29 sierpnia 1831 r. po przeprowadzeniu powyżej 16 tysięcy doświadczeń angielski fizyk i chemik M. Faraday otrzymał prąd elektryczny za pomocą pola magnetycznego magnesu trwałego. O tych doświadczeniach i ich znaczeniu dla rozwoju fizyki i techniki dowiesz się z tego paragrafu.

1 Powtarzamy doświadczenia Faradaya

Weź zwojnicę, podłącz do galwanometru i włóż magnes trwały do środka zwojnicy. Podczas ruchu magnesu wskazówka galwanometru wychyla się, to świadczy, że w obwodzie płynie prąd (rys. 8.1, a). Im szybciej poruszają

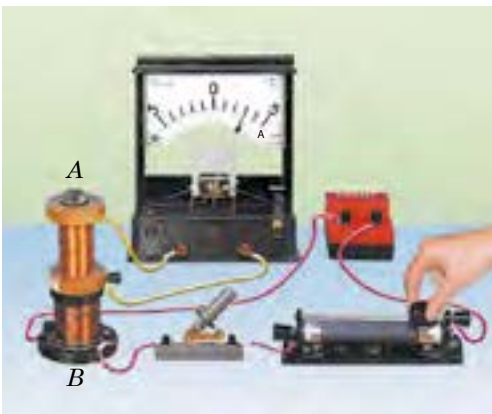


Rys. 8.1. Doświadczenia potwierdzające powstanie prądu: *a* – magnes wsuwamy do zwojnicy, wskazówka galwanometru odchyła się w prawo; *b* – magnes nieruchomy, prądu nie ma, wskazówka nie odchyła się; *c* – przy wysuwaniu magnesu ze zwojnicy, wskazówka galwanometru odchyła się w lewo

magnesem, tym większy będzie prąd; jeżeli magnesem nie poruszać, to prąd nie popłynie – wskazówka wróci do zera (rys. 8.1, *b*). Przy wysuwaniu magnesu ze zwojnicy zobaczymy, że wskazówka galwanometru odchyli się w przeciwnym kierunku (rys. 8.1, *c*), gdy magnes pozostawić bez ruchu, to wskazówka wraca do zera.

Jeżeli pozostawić magnes w stanie nieruchomym, a poruszać zwojnicę (zbliżając do magnesu lub oddalając, lub obracając w pobliżu bieguna magnesu), to w pobliżu wskazówka galwanometru odchyli się.

Weź dwie zwojnice – *A* i *B* – i włóż je na wspólny rdzeń (rys. 8.2). Podłącz zwojnicę *B* przez opornik ze źródłem prądu, zwojnicę *A* z galwanometrem. Jeżeli przesuwać suwak opornika, to w zwojnicy *A* powstanie prąd elektryczny. Prąd powstaje przy zwiększeniu i zmniejszeniu natężenia prądu w zwojnicy *B*. Jednak kierunek prądu będzie różny: przy zwiększeniu natężenia prądu wskazówka odchyli się w jedną stronę, przy zmniejszeniu – w przeciwną. Prąd w zwojnicy *A* powstanie i przy zamykaniu i przy rozerwaniu obwodu zwojnicy *B*.



Rys. 8.2. Gdy rozerwać czy zamknąć obwód zwojnicy *B* lub zmienić natężenie prądu, to w zwojnicy *A* wzbudza się prąd

❓ Jak uważasz, czy będzie powstawać prąd w zwojnicy *A* (patrz rys. 8.2), jeżeli poruszać zwojnicą *A* względem zwojnicy *B*?

Wszystkie przeprowadzone doświadczenia – to współczesny przykład tych doświadczeń, które przeprowadzał w ciągu 10 lat M. Faraday i, dzięki którym stwierdził: *w zamkniętym obwodzie przewodzącym powstaje prąd elektryczny, gdy ilość linii indukcji*

magnetycznej, przenikających przez powierzchnię, ograniczoną obwodem, zmienia się.

Zjawisko otrzymało nazwę **zjawiska indukcji elektromagnetycznej**, a prąd, który przy tym powstaje – **indukcyjnym** (rys. 8.3).

? Czy powstanie prąd indukcyjny w zamkniętym obwodzie przewodzącym, jeżeli przesuwac go między biegunami elektromagnesu (rys. 8.4)?

2 Wyjaśnijmy przyczynę wzbudzenia się prądu indukcyjnego

Wyjaśniliśmy, w jaki sposób w zamkniętym obwodzie przewodzącym wynika prąd. Dlaczego tak jest? Rozpatrzmy dwa wypadki.

1. *Obwód przewodzący porusza się w polu magnetycznym* (rys. 8.3, a). Jeżeli przewodnik porusza się w polu magnetycznym, to swobodne cząstki naładowane w środku przewodnika poruszają się razem z przewodnikiem w określonym kierunku. Na poruszające się cząstki naładowane pole magnetyczne działa z określoną siłą. Pod działaniem siły cząstki naładowane poruszają się uporządkowanie wzdłuż przewodnika – w przewodniku powstaje indukcyjny prąd elektryczny

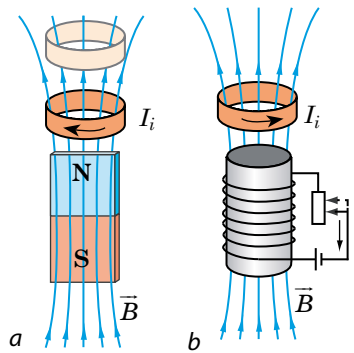
2. *Nieruchomy obwód przewodzący znajduje się w zmiennym polu magnetycznym* (rys. 8.3, b). Siły, działające ze strony pola magnetycznego nie mogą uporządkować chaotyczny ruch cząstek naładowanych w środku przewodnika. Dlaczego w obwodzie powstaje prąd indukcyjny? Jest tak przez to, że **zmiennemu polu magnetycznemu zawsze towarzyszy wirowe pole elektryczne** (linie sił pola są zamknięte).

Pole elektryczne, a nie magnetyczne, działa na swobodne cząstki naładowane w przewodniku i uporządkowuje ich ruch, wytwarzając w taki sposób prąd indukcyjny.

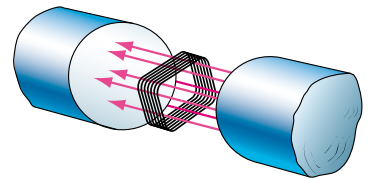
3 Określamy kierunek prądu indukcyjnego

Za pomocą zwojnicy zamkniętej określimy kierunek prądu indukcyjnego. Jeżeli zmieniać pole magnetyczne, przenikające przez zwojnicę (na przykład, zbliżając lub oddalając magnes), to w zwojnicy wynika prąd indukcyjny. Na skutek tego zwojnica staje się magnesem. Doświadczenia świadczą:

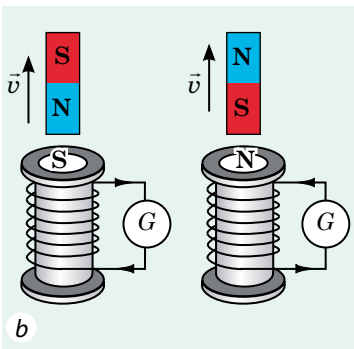
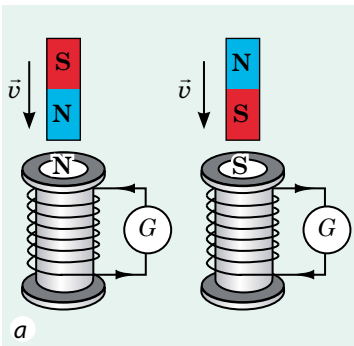
- 1) jeżeli magnes zbliżać do zwojnicy, to ona będzie od niego się odpychać;
- 2) jeżeli magnes oddalać od zwojnicy, to będzie ona do niego się przyciągać.



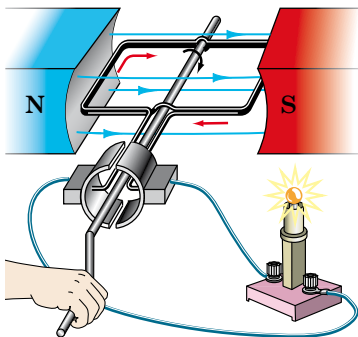
Rys. 8.3. Powstanie prądu indukcyjnego na skutek zmiany ilości linii indukcji magnetycznej, przenikających przez obwód: a – obwód zbliża się do magnesu; b – pole magnetyczne jest słabsze



Rys. 8.4. Do zadania w § 8



Rys. 8.5. Kierunek prądu indukcyjnego w zwojnicy zamkniętej: *a* – magnes zbliża się do zwojnicy; *b* – magnes oddala się od zwojnicy



Rys. 8.6. Podczas obrotu ramki w polu magnetycznym w ramce powstaje prąd indukcyjny

To znaczy:

1) jeżeli liczba linii indukcji magnetycznej, przenikających przez zwojnicę, zwiększa się (pole magnetyczne w środku zwojnicy wzmacnia się), to w zwojnicy powstaje prąd indukcyjny o takim kierunku, że zwojnica będzie obrócona do magnesu biegunem równomiernym (rys. 8.5, *a*).

2) Jeżeli ilość linii indukcji magnetycznej, przenikających przez zwojnicę, zmniejsza się, to w zwojnicy powstaje prąd indukcyjny o takim kierunku, że zwojnica będzie obrócona do magnesu biegunem różniomernym (rys. 8.5, *b*).

Znając bieguny zwojnicy i stosując regułę prawej dłoni, można określić kierunek prądu indukcyjnego dla wypadku, gdy dwie zwojnice znajdują się na wspólnym rdzeniu (patrz punkt 5 „Uczymy się rozwiązywać zadania” § 8).

4 Zapoznamy się z przemysłowymi źródłami energii elektrycznej

Zjawisko indukcji elektromagnetycznej wykorzystuje się w generatorach elektromechanicznych, bez których nie możliwe wyobrazić sobie współczesną elektroenergetykę.

Generator elektromechaniczny – urządzenie, w którym energia mechaniczna przemienia się na energię elektryczną.

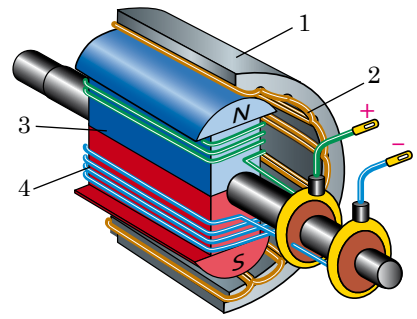
Spróbujemy zrozumieć zasadę działania generatora elektromechanicznego za pomocą doświadczenia. Bierzymy ramkę z kilku zwojów drutu i zaczynamy obracać ją w polu magnetycznym magnesu trwałego (rys. 8.6). Podczas obrotu ramki liczba linii magnetycznych, przenikających przez nie, kolejnie zwiększa się i zmniejsza się. W ramce powstaje prąd elektryczny, co potwierdza się świeceniem żarówki.

Przemysłowe generatory prądu elektrycznego mają budowę podobną do budowy silników elektrycznych. Jednak zasada działania generatora – to silnik elektryczny „na odwrót”. Generator, podobnie jak silnik elektryczny, składa się z wirnika i stojana (rys. 8.7). Duży nieruchomy stojan (1) jest walcem, na wewnętrznej powierzchni którego znajduje się gruby miedziany drut izolowany – uzwojenie stojana (2). W środku stojana obraca się wirnik (3). Podobnie jak stojan, jest wielkim

walcem, w przecięcia którego włożono uzwojenie stojana (4). Na uzwojenia wirnika podaje się napięcie od źródła prądu stałego.

Prąd płynie w uzwojeniu wirnika, wytwarzając wokół pole magnetyczne, które przenika przez uzwojenie stojana.

Pod działaniem pary (na elektrowniach ciepłych i atomowych) lub wody, padającej z wysokości (na elektrowniach wodnych), wirnik zaczyna szybko obracać się. Na skutek tego liczba linii indukcji magnetycznej, przenikającej przez uzwojenie stojana, zmienia się i w uzwojeniu stojana powstaje indukcyjny prąd elektryczny. Prąd po kilku przemianach podaje się do odbiornika energii elektrycznej.



Rys. 8.7. Schemat budowy generatora elektromechanicznego:
1 – stojan; 2 – uzwojenie stojana;
3 – wirnik; 4 – uzwojenie wirnika

5 Uczymy się rozwiązywać zadania

Zadanie. Zwojnica i pierścień aluminiowy znajdują się na wspólnym rdzeniu (rys. 1). Określ kierunek prądu indukcyjnego w pierścieniu, jeżeli klucz zamknąć. Jak będzie zachowywać się pierścień w momencie zamykania klucza? po jakimś czasie od zamykania klucza? w momencie rozerwania klucza?

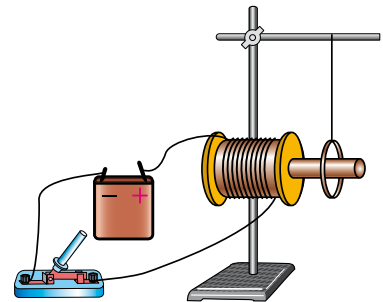
Analiza problemu fizycznego, rozwiązanie

1) Prąd w zwojnicy jest skierowany wzdłuż przedniej ścianki do góry (od „+” do „-”). Za pomocą prawej ręki określ bieguny zwojnicy (kierunek linii magnetycznych w środku zwojnicy): bliższy do pierścienia będzie południowy biegun zwojnicy (rys. 2).

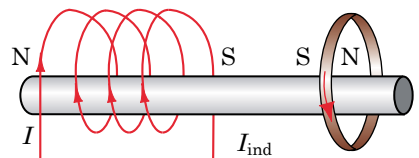
2) W momencie zamykania klucza natężenie prądu w zwojnicy zwiększa się, dlatego pole magnetyczne w środku pierścienia wzmacnia się.

3) W pierścieniu powstaje prąd indukcyjny o takim kierunku, że pierścień będzie obrócony do zwojnicy równomiernym biegunem (południowym) i będzie odpychać się od niej.

4) Za pomocą prawej ręki, określ kierunek prądu indukcyjnego w pierścieniu (on będzie przeciwny do kierunku prądu w zwojnicy).



Rys. 1



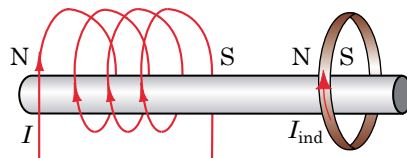
Rys. 2

Algorytm określenia kierunku prądu indukcyjnego

1. Określamy kierunek indukcji magnetycznej zewnętrznego pola magnetycznego.
2. Wyjaśniamy, wzmacnia się czy słabnie zewnętrzne pole magnetyczne (czyli zwiększa się czy zmniejsza się liczba linii indukcji magnetycznej, przenikającej przez obwód).
3. Określamy kierunek pola magnetycznego, wytworzonego przez prąd indukcyjny.
4. Określamy kierunek prądu indukcyjnego.

Prawie od razu po zamykaniu klucza prąd w zwojnicy będzie stały, pole magnetyczne w środku pierścienia nie będzie zmieniać się i prądu indukcyjnego w pierścieniu nie będzie. Tak jak pierścień jest sporządzony ze słabo namagnesowanego materiału, to nie będzie oddziaływać ze zwojnicą.

W momencie rozmykania klucza natężenie prądu w zwojnicy szybko zmniejsza się, wytworzone zwojnicę pole magnetyczne słabnie. W pierścieniu powstaje prąd indukcyjny o takim kierunku, że pierścień będzie odwrócony do zwojnicy różnoimennym biegunem i na krótki moment będzie przyciągnięty do niej (rys. 3).



Rys. 3



Podsumowanie

W zamkniętym obwodzie przewodzącym w wypadku zmiany liczby linii indukcji magnetycznej, przenikających przez obwód, powstaje prąd elektryczny. Prąd nazywamy indukcyjnym, a zjawisko powstania prądu – indukcją elektromagnetyczną.

Jedną z przyczyn powstania prądu indukcyjnego jest to, że zmienne pole magnetyczne zawsze wytwarza w przestrzeni pole elektryczne. Pole elektryczne działa na swobodne cząstki naładowane w przewodniku, cząstki będą poruszać się ruchem uporządkowanym – powstaje prąd indukcyjny.



Pytania kontrolne

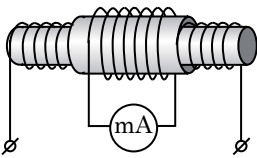
1. Opisz doświadczenia M. Faradaya.
2. Na czym polega zjawisko indukcji elektromagnetycznej?
3. Jaki prąd nazywamy indukcyjnym?
4. Wymień przyczyny powstania prądu indukcyjnego.
5. Podstawą pracy jakich urządzeń jest zjawisko indukcji elektromagnetycznej? Jakie przemiany energii w nich zachodzą?
6. Opisz budowę i zasadę działania generatorów prądu elektrycznego.



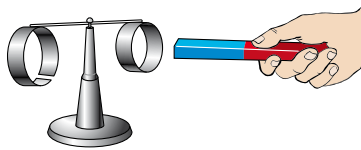
Ćwiczenie nr 8

1. Dwie nieruchome zwojnice rozmieszczone są tak, jak przedstawia rys. 1. Miiliamperomierz jest podłączony z jedną z nich i wskazuje obecność prądu. Kiedy jest to możliwe?
2. Na rys. 2 pokazano urządzenie, nazywane „pętlą Lenza”. Urządzenie składa się z dwóch pętli aluminiowych (zamkniętej i rozerwanej), umocowanych na pręcie aluminiowym, łatwo obracającym się wokół osi pionowej.

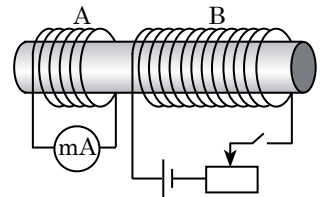
- 1) Jak będzie zachowywać się pętla zamknięta, jeżeli:
 - a) podnosić do niej magnes? b) odsuwać od niej magnes? c) podnosić do niej magnes biegunem południowym?
- 2) Określ kierunek prądu indukcyjnego oraz kierunek pola magnetycznego, wytworzonego przez prąd w pętli zamkniętej dla każdego wypadku w p. 1.
- 3) Co będzie, gdy magnes podnosić do pętli rozerwanej?
3. Dwie zwojnice osadzone na wspólny rdzeń (rys. 3). Określ kierunek prądu indukcyjnego w zwojnicy A, jeżeli: 1) obwód zamknąć; 2) obwód rozerwać; 3) przesunąć suwak opornika w lewo; 4) przesunąć suwak opornika w prawo.



Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3

4. Ułóż zadanie, odwrotne do rozpatrzonego w punkcie 5 „Uczymy się rozwiązywać zadania” § 8. Rozwiąż otrzymane zadanie.

PRACA LABORATORYJNA NR 2

Temat. Obserwacja zjawiska indukcji elektromagnetycznej.

Cel: zbadać warunki powstania prądu indukcyjnego w zwojnicy zamkniętej; wyjaśnić od jakich czynników zależy siła i kierunek prądu indukcyjnego.

Przyrządy: miliamperomierz, dwa sztabkowe lub podkowiaste magnesy, drucziana zwojnica.

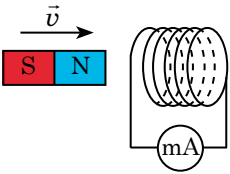


WYKONANIE PRACY

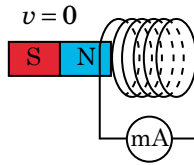
Przygotowanie się do doświadczenia

1. Przed wykonaniem pracy przypomnij:
 - 1) wymagania bezpieczeństwa podczas pracy z obwodami elektrycznymi;
 - 2) zasady, których należy dostrzegać podczas mierzenia natężenia prądu amperomierzem;
 - 3) jak zależy natężenie prądu indukcyjnego od prędkości zmiany pola magnetycznego;
 - 4) od czego zależy kierunek prądu indukcyjnego.

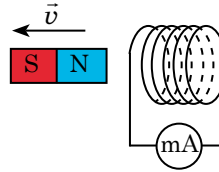
2. Wykonaj zadanie. Na rys. 1–4 przedstawiono magnes sztabkowy, zwojnicę, podłączoną do miliamperomierza, zaznaczono kierunek prędkości ruchu magnesu. Narysuj ich w zeszytcie i dla każdego wypadku:
- 1) wskaż magnetyczne bieguny zwojnicy;
 - 2) określ i wskaż kierunek prądu indukcyjnego w zwojnicy.



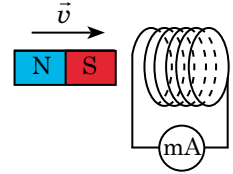
Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3



Rys. 4

3. Zmontuj obwód elektryczny, łącząc zwojnicę z miliamperomierzem.
4. Zaznacz jeden koniec zwojnicy markerem.

Doświadczenie 1

Wyjaśnienie warunków powstania prądu indukcyjnego w przewodniku zamkniętym i czynników, od których zależy kierunek prądu indukcyjnego.

Trzymając w ręku zwojnicę i magnes, kolejnie wykonaj doświadczenia, zaznaczone w tab. 1.

Zwróć uwagę! Magnes należy wkładać do zwojnicy i wyciągać go z niej od zaznaczonej strony.

Tabela 1

Numer doświadczenia	Działania z magnesem i zwojnicą	Jak zachowuje się wskazówka miliamperomierza (odchyła się w lewo, w prawo, nie odchyła się)
1	Włóż magnes do zwojnicy biegunem północnym	
2	Zostaw magnes nieruchomo	
3	Wyciągnij magnes ze zwojnicy	
4	Włóż magnes do zwojnicy biegunem południowym	
5	Zostaw magnes nieruchomo	
6	Wyciągnij magnes ze zwojnicy	
7	Zbliżaj zwojnicę do południowego bieguna magnesu	
8	Zbliżaj zwojnicę do północnego bieguna magnesu	

Analiza wyników doświadczenia 1

Przeanalizuj tab. 1 i sformułuj wniosek, w którym zaznacz:

- 1) warunki powstania prądu indukcyjnego w zamkniętej zwojnicy;
- 2) jak zmienia się kierunek prądu indukcyjnego przy zmianie kierunku ruchu magnesu;
- 3) jak zmienia się kierunek prądu indukcyjnego przy zmianie bieguna magnesu, który zbliża się lub oddala się od zwojnicy.

Doświadczenie 2

Wyjaśnienie czynników, od których zależy wartość indukcyjnego prądu.

Trzymając zwojnicę i magnes w rękach, kolejnie wykonaj doświadczenia, zaznaczone w tab. 2. Zapisz wskazania miliamperomierza do tab. 2.

Tabela 2

Numer doświadczenia	Działania z magnesem i zwojnicą	Natężenie prądu I , mA
1	Szybko wkładaj magnes do zwojnicy	
2	Powoli wkładaj magnes do zwojnicy	
3	Szybko wkładaj do zwojnicy dwa magnesy, złożone równoimiennymi biegunami	
4	Powoli wkładaj do zwojnicy dwa magnesy, złożone równoimiennymi biegunami	

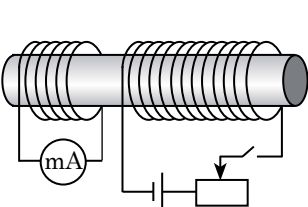
Analiza wyników doświadczenia 2

Przeanalizuj tab. 2 i sformułuj wniosek, w którym zaznacz:

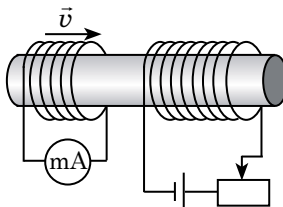
- 1) jak zależy natężenie prądu indukcyjnego od prędkości względnego ruchu magnesu i zwojnicy;
- 2) jak zależy natężenie prądu indukcyjnego od wartości indukcji zewnętrznego pola magnetycznego, zmiana którego powoduje powstanie prądu w zwojnicy.

Zadanie twórcze

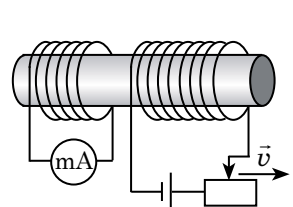
Pomyśl i zapisz plan przeprowadzenia doświadczeń badania warunków powstania prądu indukcyjnego w zwojnicy zamkniętej dla wypadków, gdy dwie zwojnice nasadzone są na wspólny rdzeń (patrz rys. 5–7). Postaraj się przeprowadzić doświadczenia. Wyciągnij wnioski. Dla zaznaczonych wypadków wskaż bieguny każdej zwojnicy i kierunki ruchu w nich.



Rys. 5



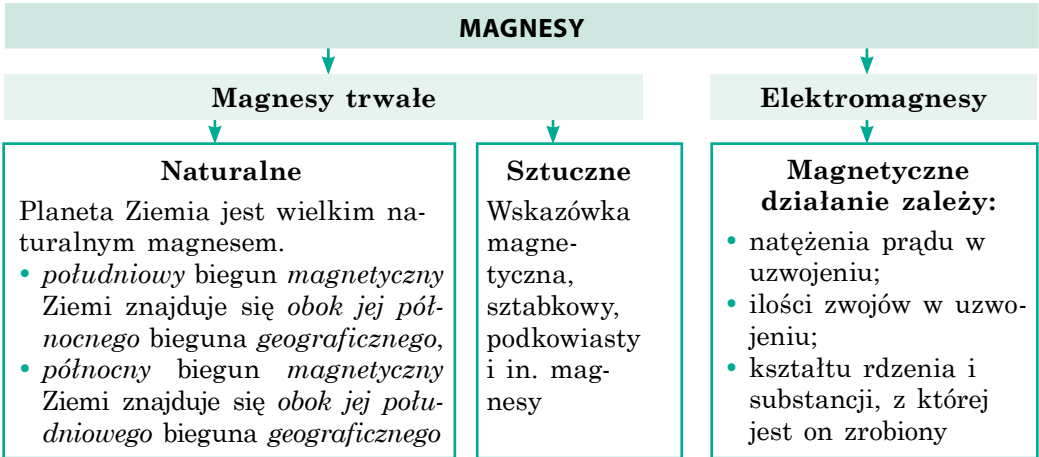
Rys. 6



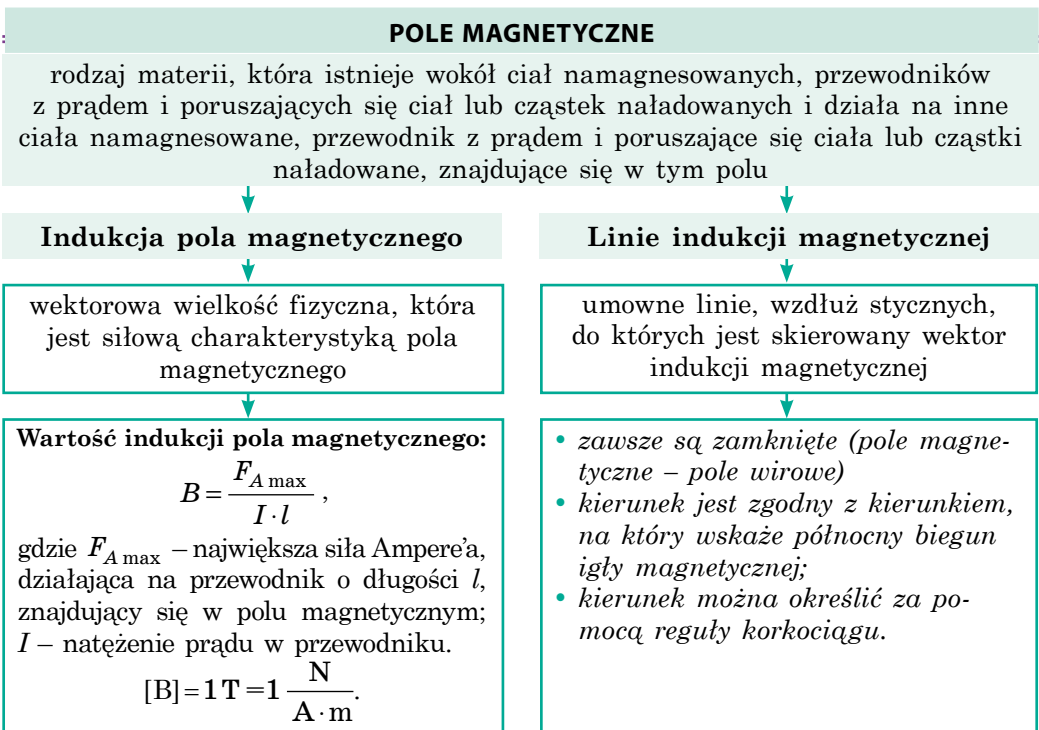
Rys. 7

PODSUMOWANIE ROZDZIAŁU I „Pole magnetyczne”

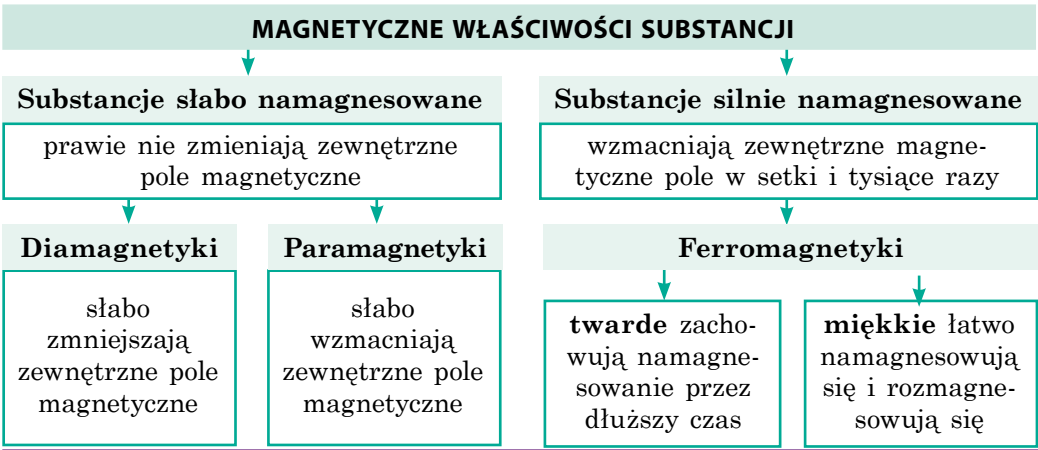
1. Badając rozdział I, dowiedziałeś się, że człowiek najpierw wiedział o *magnesach trwałych* i nauczył się ich stosować; później stworzono *elektromagnesy*, które wykorzystują się obecnie na szeroką skalę.



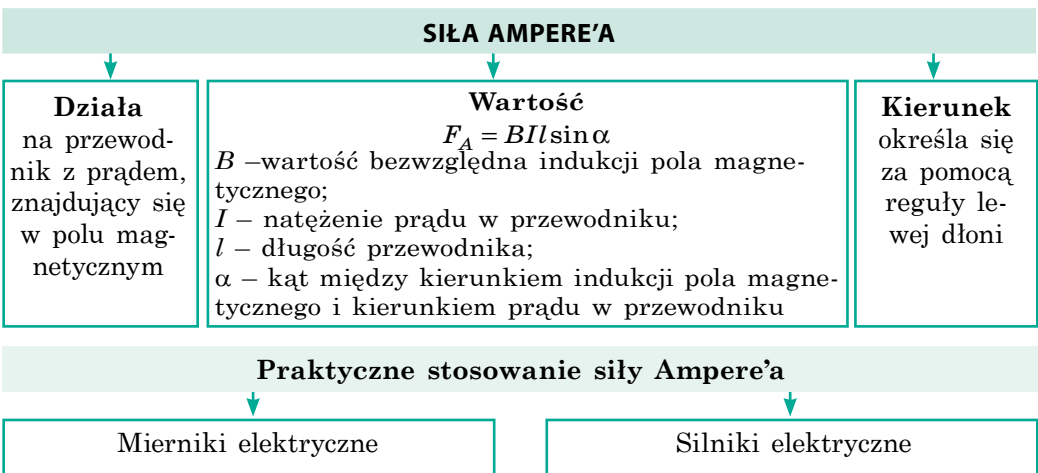
2. Wyjaśniliśmy, że *wokół ciała namagnesowanego, poruszającej się cząstki i przewodnika z prądem istnieje pole magnetyczne*.



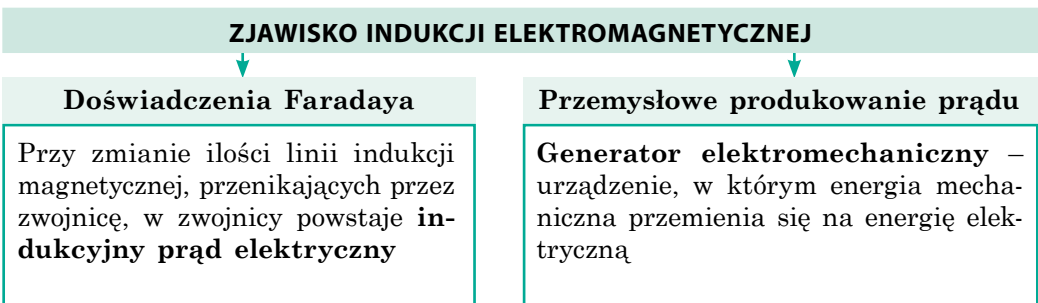
3. Wiemy, że w polu magnetycznym wszystkie substancje namagnesowują się w różny sposób.



4. Wyjaśniliśmy, że na przewodnik z prądem, znajdujący się w polu magnetycznym, działa określona siła – *siła Amperé'a*.



5. Powtórzyliśmy doświadczenia M. Faradaya i zapoznaliśmy się ze zjawiskiem *indukcji elektromagnetycznej*.



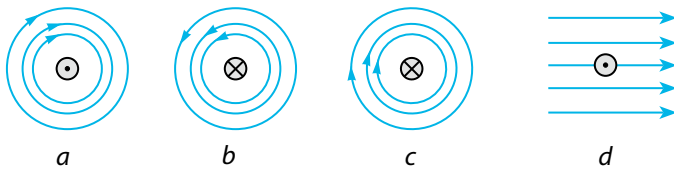
ZADANIA DO ROZDZIAŁU I

„Pole magnetyczne”

Zadania 1,2, 5–7 mają jedną prawdziwą odpowiedź.

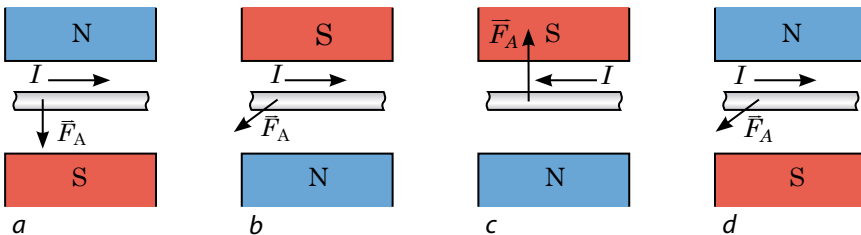
- (1 punkt) Południowy biegun magnetyczny igły magnesu wskazuje:
 - północny biegun geograficzny Ziemi;
 - południowy biegun magnetyczny Ziemi;
 - południowy biegun geograficzny Ziemi;
 - równik Ziemi
- (1 punkt) Pole magnetyczne zwojnicy z prądem słabnie, gdy:
 - do środka zwojnicy włożyć rdzeń żelazny;
 - zwiększyć liczbę zwojów w uzwojeniu;
 - zmniejszyć natężenie prądu;
 - zwiększyć natężenie prądu.
- (2 punkty) Ustal zgodność między faktami naukowymi i doświadczeniami.

1. Wokół przewodnika z prądem istnieje pole magnetyczne	A Doświadczenia Ampere’a
2. Wokół Ziemi istnieje pole magnetyczne	B Doświadczenia Gilberta
3. Dwa przewodniki z prądem oddziałują wzajemnie	C Doświadczenia Oersteda
4. Zmienne pole magnetyczne wytwarza pole elektryczne	D Doświadczenia Coulomba
	E Doświadczenia Faradaya
- (2 punkty) Wybierz *wszystkie* poprawne twierdzenia.
 - Biegun magnesu – część powierzchni magnesu, w którym najbardziej przejawia się magnetyczne działanie.
 - Linie indukcji jednorodnego pola magnetycznego są wykrzywione.
 - Jednostką indukcji magnetycznej w SI jest tesla.
 - Wirnik – to nieruchoma część silnika.
- (2 punkty) W jakim wypadku (rys. 1) kierunek linii indukcji pola magnetycznego prostoliniowego przewodnika z prądem zaznaczono poprawnie?



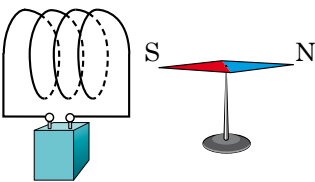
Rys. 1

- (2 punkty) W którym z wypadków (rys. 2) kierunek siły Ampere’a oznaczono poprawnie?

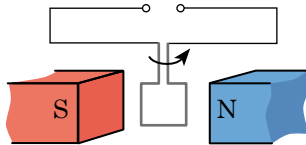


Rys. 2

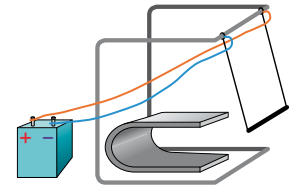
7. (2 punkty) Prostoliniowy przewodnik o długości 0,6 m znajduje się w jednorodnym polu magnetycznym o indukcji 1,2 mT pod kątem 30° do linii indukcji magnetycznej pola. Oblicz siłę Ampere'a, działającą na przewodnik, jeżeli natężenie prądu w nim równa się 5 A.
a) 1,8 mN; b) 2,5 mN; c) 3,6 mN; d) 10 mN.
8. (2 punkty) Ziarno przed podaniem na kamień młyński przepuszczają między biegunami silnego magnesu. W jakim celu to robią?
9. (3 punkty) Igła magnetyczna ustawia się w polu magnetycznym zwojnicy z prądem tak, jak pokazano na rys. 3. Określ zaciski źródła prądu.
10. (3 punkty) Na rys. 4 pokazana jest ramka, obracająca się w polu magnetycznym magnesu trwałego. Określ zaciski źródła, do którego jest ona podłączona.
11. (3 punkty) Rys. 5 ilustruje przewodnik z prądem, znajdujący się w polu magnetycznym magnesu podkowiastego. Określ bieguny magnesu.



Rys. 3

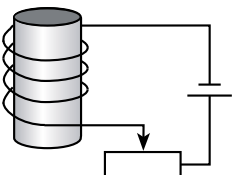


Rys. 4

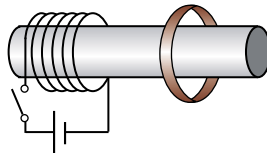


Rys. 5

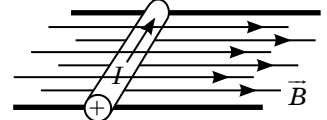
12. (3 punkty) Jeżeli do igły magnetycznej kompasu podnieść magnes trwały, to odchyli się ona w kierunku „północ – południe”. Czy będzie odchylać się igła, gdy podnieść do niej klocek żelazny? klocek miedziany?
13. (4 punkty) Określ bieguny elektromagnesu (rys. 6). Jak zmieni się siła podnoszenia elektromagnesu, gdy suwak opornika suwakowego przesunąć w lewo?
14. (4 punkty) Określ kierunek prądu indukcyjnego w zamkniętym pierścieniu przewodzącym w momencie zamykania klucza (rys. 7).
15. (4 punkty) Rdzeń stalowy o długości 40 cm i o masie 50 g leży prostopadłe do poziomych szyn (rys. 8). Wzdłuż szyn jest skierowane jednorodne pole magnetyczne o indukcji 0,25 T. Przez rdzeń przepuszczany jest prąd elektryczny o natężeniu 2 A. Z jaką siłą on działa na szyny?



Rys. 6



Rys. 7



Rys. 8

Sprawdź swoje odpowiedzi z odpowiedziami na końcu podręcznika. Oznacz zadania wykonane prawidłowo, policz sumę punktów. Następnie podziel sumę przez trzy. Otrzymana liczba będzie odpowiadać poziomowi twojej wiedzy.



Zadania dodatkowe, sprawdzające przez komputer znajdziesz w wariancie elektronicznym „Nauczanie interaktywne”.

Od gwiazd do „Latających żab”, czyli dlaczego są potrzebne magnesy

Dla większości ludzi magnesy – to są kompasy. Inżynierowie przypominają o ich stosowaniu w silnikach elektrycznych i generatorach prądu elektrycznego. Jednak wszystkie te konstrukcje są dawno znane. Więc, dalsze badanie zjawisk magnetycznych jest niepotrzebne?

Nie śpiesz się z odpowiedzią, przypomnij na przykład, o pociągach „bez tarcia”. Szynami takich pociągów jest pole magnetyczne. Dwa magnesy, jeden umieszczony w oporach, inny – w pociągu, obrócone są ku sobie równoimiennymi biegunami, a więc, odpychają się. Pociąg jakby „leci” nad jezdnią. O zaletach takiego technicznego rozwiązania dokładnie napisano na stronie encyklopedycznej podręcznika klasy 8.

Rozważmy jeszcze kilka stosowań potężnych magnesów. W tym celu wyjaśnijmy, czym są magnesy potężne? Porównamy pola magnetyczne różnych obiektów w tabeli, w której podano, ile razy pole danego obiektu jest silniejsze od pola magnetycznego Ziemi. Więc, pole magnetyczne Ziemi jest przyjęte za jednostkę. Jednak to pole, prawie nie wielkie, czasami jest szkodliwym czynnikiem i uczeni nauczyli się zmniejszać (ekranować) go w specjalnych pomieszczeniach – miejscach z ekranami magnetycznymi. Najmniejsza wartość pola magnetycznego w takim pomieszczeniu jest 10 milionów razy mniejsza od pola magnetycznego Ziemi.

Jak widać z tabeli, stworzono magnes, pole magnetyczne którego jest 200 000 razy większe od pola magnetycznego Ziemi. W jakim celu stosuje się takie magnesy?

W pierwszej kolejki fizykom są potrzebne magnesy dla otrzymania wiązek cząstek naładowanych w akceleratorach. Na rys. 1 pokazano naj-



Rys. 1. Jeden z największych na świecie akcelerator cząstek naładowanych



Rys. 2. Potężne magnesy, utrzymujące cząstki naładowane w środku akceleratora

Względne wielkości pól magnetycznych

Źródło lub miejsce, w którym mierzy się pole magnetyczne	Względna wartość
Powierzchnia Ziemi	1
Pomieszczenie z ekranem magnetycznym	10^{-6}
Szkolny magnes laboratoryjny	200
Środek płamy słonecznej	3000
Wielki elektromagnes	30 000
Magnes laboratoryjny o dużej mocy	200 000
Powierzchnia gwiazdy neutronowej	10^{12}

większy na świecie akcelerator. Po wielkim pierścieniu o średnicy kilku kilometrów poruszają się cząstki naładowane. Żeby „nie wychodziły” one poza ścianki, stosują potężne magnesy (rys. 2).

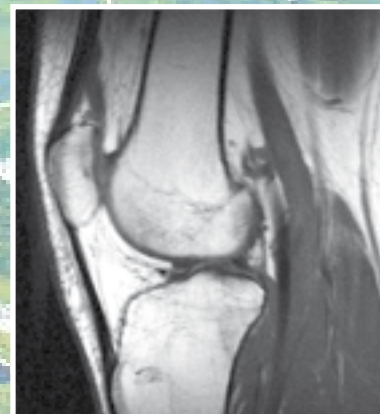
Powszechnie stosowane są magnesy o dużej mocy w medycynie: otrzymują obrazy wewnętrznych narządów człowieka (rys. 3, 4). Metoda rezonansu magnetycznego jest bardziej bezpieczna, niżeli diagnostyka za pomocą promieni rentgenowskich.

Jeszcze jeden przykład stosowania magnesów o dużej mocy: uczeni nauczyli „latać” ciężkie pociągi. A czy może latać człowiek czy zwierzę?

Okazuje się, że wszystko zależy od substancji. W konstrukcji pociągu dla wzmocnienia pola magnetycznego stosują specjalne substancje, a substancje, z których składa się organizm żywy, takich właściwości nie zawierają. Rozwiązują ten problem magnesy o dużej mocy. Okazało się, że w bardzo silnych polach magnetycznych nawet niewielki magnetyzm organizmu żywego jest wystarczający dla zabezpieczenia niezbędnej siły odpychania. Uczonym udało się zmusić „latać” żabę, umieszczając ją nad potężnym magnesem (rys. 5). Badacze udowadniają, że w końcu lotu żaba czuła się dobrze. Rzecz w małym. Pozostało tylko zwiększyć pole magnetyczne 10–100 razy – i człowiek odczuje piękno lotu.



Rys. 3. Urządzenie do badań wewnętrznych narządów człowieka za pomocą rezonansu magnetycznego



Rys. 4. Zdjęcie stawów, zrobione za pomocą rezonansu magnetycznego



Rys. 5. „Latająca” żaba

Proponowane tematy projektów

1. Substancje magnetyczne i ich stosowanie.
2. Magnetyczne odtwarzanie informacji.
3. Przykłady i zastosowanie oddziaływań magnetycznych w przyrodzie i technice.
4. Geomagnetyczne pole Ziemi.
5. Burze magnetyczne i ich wpływ na zdrowie człowieka.
6. Różnorodne urządzenia elektromagnetyczne.
7. Generatory prądu elektrycznego.

Tematy referatów

1. Wpływ pola magnetycznego na jakość i prędkość kiełkowania nasion.
2. Wpływ pola magnetycznego na życie i zdrowie człowieka.
3. Siła Lorentza. Przykłady siły Lorentza w przyrodzie, zastosowanie jej w technice.
4. Historia badań nad magnetyzmem.
5. Magnetyczne momenty atomu i jego części składowych.
6. Antymagnetyczne substancje i ich wykorzystanie.
7. Wkład uczonych ukraińskich w badania nad magnetyzmem.
8. M. Faraday i D. Maxwell – twórcy teorii pola elektromagnetycznego.
9. Burze magnetyczne w atmosferze planet-olbrzymów Saturna i Uranu.
10. Nikola Tesla – człowiek, który wyprzedził swoje czasy.
11. Zasada pracy przyspieszacza cząstek naładowanych.
12. Istota oraz zastosowanie separatora magnetycznego.
13. Generator magnetyczny. Zasady pracy.
14. Czym jest pętla histerezy i jaki ma związek z namagnesowaniem i przemagnesowaniem.
15. Ciecz magnetyczna: jej właściwości i przykłady stosowania.

Tematy badań eksperymentalnych

1. Badanie właściwości magnesów trwałych.
2. Badanie pola magnetycznego Ziemi.
3. Mierzenie indukcji magnetycznej pola magnetycznego zwojnicy z prądem; pola magnetycznego magnesu podkowiastego.
4. Konstruowanie generatora prądu elektrycznego.
5. Badanie zjawiska indukcji elektromagnetycznej.
6. Otrzymywanie cieczy magnetycznej, badanie jej właściwości.
7. Konstruowanie silnika elektrycznego.

ROZDZIAŁ II

ZJAWISKA ŚWIETLNE

- Niejednokrotnie mierzyłeś swój wzrost, obecnie dowiesz się, jak, znając własny wzrost, można zmierzyć wysokość drzewa.
- Wiele razy obserwowałeś tęczę, obecnie dowiesz się, jak można uzyskać ją w warunkach domowych.
- Dobrze znasz przysłowie „W nocy wszystkie koty są czarne”, będziesz mógł to wyjaśnić za pomocą fizyki.
- Wiesz, że niektórzy ludzie nie mogą obejść bez okularów, dowiesz się, dlaczego za pomocą okularów widzimy lepiej.



§ 9. ZJAWISKA ŚWIETLNE. ŹRÓDŁA I ODBIORNIKI ŚWIATŁA. PRĘDKOŚĆ ROZCHODZENIA SIĘ ŚWIATŁA

Spośród pięciu ważnych dla człowieka zmysłów najwięcej informacji pozyskujemy poprzez wzrok. Widzieć możemy tylko dlatego, że trafia nam do oczu światło. Rozpoczynamy zatem badanie zjawisk świetlnych, czyli *optycznych* (z grec. *optik* – widzenie lub wzrok), związanych ze światłem.

1 Obserwujemy zjawiska optyczne

Ze zjawiskami optycznymi spotykamy się na co dzień, są one częścią warunków naturalnych, w których żyjemy.

Niektóre ze zjawisk są dla nas cudem, na przykład fata morgana na pustyni, zorza polarna. Jednak są i bardziej „zwykłe” dla nas zjawiska: błysk kropelki rosy w promieniach słonecznym, ścieżka księżycowa, tęcza o siedmiu barwach po deszczu, błyskawica w chmurach, migotanie gwiazd na nocnym niebie – to też są cuda, ponieważ powodują, że otaczający nas świat staje się piękniejszy.

2 Wyjaśnijmy, czym są źródła światła

Źródła światła – to ciała fizyczne, cząstki (atomy, cząsteczki, jony) których wydzielają światło.

Popatrz wokół siebie, zwróć się do własnego doświadczenia – bez wątpienia wymienisz wielu źródeł światła: gwiazda, błysk błyskawicy, płomień świecy, żarówka, monitor komputera (patrz na przykład [rys. 9.1](#)). Światło wydzielają niektóre organizmy żywe (robaczki świętojańskie – jasne kropki światła, które można zobaczyć w trawie ciepłą letnią nocą, niektóre zwierzęta morskie, radiolarie i inne).

W jasną księżycową noc dość dobrze widzimy przedmioty, oświetlone światłem Księżyca. Jednak nie możemy uważać Księżyca za źródło światła, nie promieniuje on, a tylko odbija światło słoneczne.

? Czy możemy uważać za źródło światła zwierciadło, za pomocą którego puszczasz „słoneczne zajęczki”? Odpowiedź uzasadnij.



Rys. 9.1. Przykłady źródeł światła

3 Rozróżniamy źródła światła

W zależności od pochodzenia rozróżniamy źródła światła **naturalne** i **sztuczne** (stworzone przez człowieka).

Do *naturalnych źródeł światła* należą, na przykład Słońce i gwiazdy, rozżarzona lava i zorze polarne, niektóre obiekty świetlne spośród zwierząt i roślin (ośmiornica, bakterie, robaczki świętojańskie).

By zaopatrzyć człowieka w światło, naturalnych źródeł nie wystarcza. Dlatego człowiek zaczął stwarzać *sztuczne źródła światła*. Najpierw to był ogień, później – świece i lampa naftowa; w końcu XIX w. wynaleziono żarówkę elektryczną. Obecnie są stosowane różne rodzaje żarówek (rys. 9.2, 9.3).

? Jakie rodzaje żarówek elektrycznych są wykorzystywane w mieszkaniach budynków? Jakie żarówki są wykorzystywane do różnobarwnego oświetlenia?

Źródła światła dzielimy na **cieplne** i **luminescencyjne**.

Źródła *cieplne* wydzielają światło dzięki temu, że mają wysoką temperaturę (rys. 9.4).

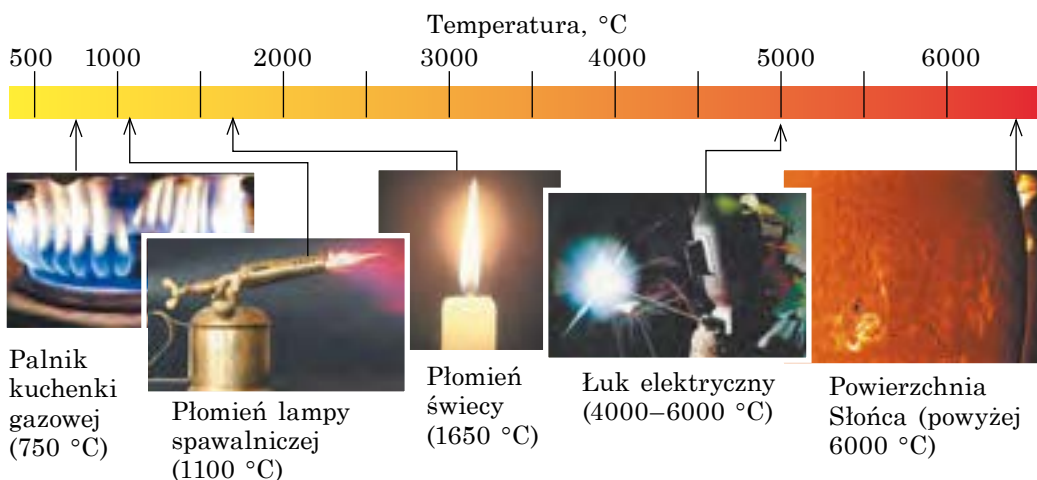
Do świecenia *luminescencyjnych źródeł światła* wysoka temperatura nie jest potrzebna: promieniowanie będzie bardzo silne, a źródło przy tym pozostaje zimne. Przykładami luminescencyjnych źródeł światła są zorza polarna i morski plankton, ekran telefonu i czujnik światła, pokryty farbą luminescencyjną, znak drogowy i in.



Rys. 9.2. Lamy halogenowe w światłach współczesnego samochodu są potężnymi źródłami światła sztucznego



Rys. 9.3. Sygnał współczesnych świateł dobrze widać nawet wtedy, gdy bardzo jasno świeci słońce. Takie światła zawierają lamy LED



Rys. 9.4. Źródła ciepłe światła

4 Badamy punktowe i ciągłe źródła światła

Źródło światła, które promieniuje światło we wszystkich kierunkach jednakowo i rozmiarów którego, uwzględniając odległość do miejsca obserwacji, nie uwzględniamy, nazywamy punktowym **źródłem światła**.

Najlepszym przykładem punktowych źródeł światła są gwiazdy, przecież widzimy je z Ziemi, czyli z odległości miliony razy większej od rozmiarów gwiazd.

Źródła światła, które nie są punktowe, nazywamy *ciągłymi źródłami światła*.

W większości przypadków widzimy źródła ciągłe. Są to świetlówki, ekran komórki, płomień świecy, ogień ogniska.

W zależności od warunków, to samo źródło można uznać za zarówno ciągłe, jak i punktowe.



Rys. 9.5. Do zadania w § 9



Rys. 9.6. We współczesnych systemach alarmowych stosuje się fotokomórki

? Na rys. 9.5 przedstawiono lampę do oświetlenia ogrodu. W jakim przypadku będzie on punktowym źródłem światła?

5 Rozróżniamy źródła światła

Odbiorniki światła – są to urządzenia, które zmieniają swoje właściwości poprzez działanie światła i za pomocą których można zobaczyć promieniowanie światłne.

Odbiorniki mogą być *sztuczne* i *naturalne*. W dowolnym odbiorniku energia świetlna promieniowania światłnego przemienia się w inne rodzaje energii – ciepłą, powstającą podczas ogrzewania ciał, które pochłaniają światło, chemiczną i mechaniczną. Na skutek takich przemian odbiorniki w określony sposób reagują na światło lub jego zmianę.

Na przykład niektóre systemy alarmowe pracują na *fotoelektrycznych odbiornikach światła* – **fotokomórkach**. Cienkie wiązki światła, przenikające przestrzeń wokół obiektu, są skierowane na fotokomórki (rys. 9.6). Gdy jeden z promieni zostanie przekroczony, fotokomórka nie otrzyma energii świetlnej i natychmiast „zawiadomi” o tym.

W bateriach słonecznych fotokomórki przemieniają energię światła na energię elektryczną. Współczesne elektrownie słoneczne – to wielkie „pola energetyczne” złożone z baterii słonecznych.

Do wywoływania zdjęć przez dłuższy czas stosowano *tylko odbiorniki fotochemiczne światła* (błonę i papier fotograficzny), w których, w wyniku działania światła, zachodzą reakcje chemiczne (rys. 9.7).

We współczesnych aparatach cyfrowych zamiast błony stosowany jest blok, składający się z dużej ilości fotokomórek. Każda z nich przyjmuje „swoją” część strumienia świetlnego, przekształca go na sygnał elektryczny i przekazuje w wyznaczone miejsce ekranu.

Naturalnymi odbiornikami światła są oczy istot żywych (rys. 9.8). Pod działaniem światła w siatkówce oka zachodzą reakcje chemiczne, powstają impulsy nerwowe, na skutek czego mózg kształtuje wyobrażenie o środowisku otaczającym.



Rys. 9.7. Błona i papier fotograficzny – fotochemiczne odbiorniki światła



Rys. 9.8. Oczy istot żywych – to naturalne źródła światła

6 Dowiadujemy się o prędkości rozchodzenia się światła

Patrząc się na gwiazdzone niebo, nawet nie zastanawiasz się, że niektóre gwiazdy już nie świecą. I nasi przodkowie też patrzyli na te same gwiazdy, lecz tych gwiazd już nie było! Jak to jest możliwe, jeżeli światło gwiazdy jest, a samej gwiazdy nie ma?

Dzieje się tak dlatego, że światło rozchodzi się w przestrzeni ze skończoną prędkością. Prędkość c rozchodzenia się światła jest olbrzymia, w próżni wynosi ona około trzysta tysięcy kilometrów na sekundę:

$$c = 299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}^*$$

Światło pokonuje wielokilometrowe odległości w ciągu tysięcznej części sekundy. Właśnie dlatego, gdy odległość od odbiornika do źródła światła jest mała, wydaje się, że światło rozchodzi się natychmiast. A od dalekich gwiazd światło dochodzi do nas w ciągu tysięcy i milionów lat.

* Podczas rozwiązywania zadań będziemy stosować przybliżoną wartość prędkości rozchodzenia się światła w próżni: $c = 300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.

Od najbliższej do nas gwiazdy Alfa Centauri światło idzie do Ziemi około 4 lata. Dlatego, patrząc na gwiazdę, w rzeczywistości widzimy, jaką ona była 4 lata temu.

Jednak istnieją galaktyki, znajdujące się od nas w odległości milionów lat świetlnych (czyli światło dochodzi do nich przez miliony lat). Wyobraź sobie, że w takiej galaktyce istnieje cywilizacja wysokorozwinięta. Wtedy wygląda na to, że „widzą” oni naszą planetę jeszcze za czasów dinozaurów!





Podsumowanie

Ciała fizyczne, atomy i cząsteczki których promieniują światło, nazywamy źródłami światła. Źródła światła dzielimy na ciepłe i luminescencyjne; naturalne i sztuczne; punktowe i ciągłe. Na przykład zorza polarna jest naturalnym ciągłym luminescencyjnym źródłem światła.

Urządzenia, które zmieniają swoje parametry na skutek działania światła, i za pomocą których można wykryć promieniowanie świetlne, nazywamy odbiornikami światła. W odbiornikach światła energia promieniowania świetlnego przemienia się w inne rodzaje energii. Narządy wzroku istot żywych są naturalnymi odbiornikami światła.

Światło rozchodzi się w przestrzeni ze skończoną prędkością. Prędkość rozchodzenia się światła w próżni wynosi w przybliżeniu: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.



Pytania kontrolne

1. Czym jest światło dla człowieka? **2.** Podaj definicję źródła światła. Jakie znasz źródła światła? **3.** Czy Księżyc jest źródłem światła? Odpowiedź uzasadnij. **4.** Podaj przykłady naturalnych i sztucznych źródeł światła. **5.** Czym są podobne ciepłe i luminescencyjne źródła światła? Czym różnią się? **6.** Jakie źródło światła nazywamy punktowym? **7.** Jakie urządzenia nazywamy odbiornikami światła? Podaj przykłady naturalnych i sztucznych odbiorników światła. **8.** Z jaką prędkością rozchodzi się światło w próżni?



Ćwiczenie nr 9

- Ustal zgodność pomiędzy źródłem światła (patrz rysunek) a jego rodzajem.
 A naturalne ciepłe
 B sztuczne ciepłe
 C naturalne luminescencyjne
 D sztuczne luminescencyjne



1 telefon



2 pochodnia



3 robaczek świętojański

- W każdym z łańcuszków słów znajdź „zbędne” słowo lub kilka słów.
 - plomień świecy, Słońce, gwiazda, Księżyc, lampa LED;
 - ekran włączonego komputera, błyskawica, żarówka, pochodnia;
 - światówka, płomień palnika gazowego, ognisko, radiolaria.
- Za jaki czas światło pokonuje odległość od Słońca do Ziemi – 150 mln km?
- W których z podanych sytuacji traktujemy Słońce jako punktowe źródło światła?
 - obserwacja zaćmienia Słońca;
 - obserwacja Słońca ze statku kosmicznego, lecącego poza granicami Układu Słonecznego?
 - obliczanie czasu za pomocą zegara słonecznego.
- Jedną z jednostek, stosowanych w astronomii, jest *rok świetlny*. Ilu metrom równa się rok świetlny, jeżeli równa się odległości, którą pokonuje światło w próżni w ciągu jednego roku?
- Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się, kto pierwszy zmierzył prędkość rozchodzenia się światła.

§ 10. PROMIEŃ ŚWIETLNY I WIĄZKA ŚWIATŁA. PRAWO PROSTOLINIOWEGO ROZCHODZENIA SIĘ ŚWIATŁA. ZAĆMIENIE SŁOŃCA I KSIĘŻYCA

Podczas zabawy w chowanego, czy gdy puszczasz „zajaczki słoneczne” nawet nie domyślasz się, że masz do czynienia z prawem prostoliniowego rozchodzenia się światła. Ustalmy zatem na czym polega to prawo i jakie zjawiska wyjaśnia.

1 Uczymy się rozróżniać wiązkę światła i promień świetlny

Do obserwacji wiązek światła nie potrzebujemy specjalnego urządzenia (rys. 10.1). Wystarczy, na przykład otworzyć drzwi z oświetlonego korytarza do ciemnego korytarza, włączyć w ciemności latarkę lub w jasny słoneczny dzień nie do końca zasłonić firanki. *Wiązki światła* w pierwszym przypadku padają na podłogę przez szczelinę w drzwiach; w drugim przypadku światło skierowuje się w określonym kierunku reflektorem latarki; w ostatnim przypadku wiązki światła przechodzą do pokoju przez szczelinę pomiędzy firankami.

W życiu codziennym obserwujemy wyłącznie wiązki światła. Chociaż bardziej nam pasuje mówić: promień słoneczny, promień reflektora, zielony promień itd. W rzeczywistości, z punktu widzenia *optyki*, którą będziemy badać w tym roku, poprawnie byłoby mówić: wiązka promieni słonecznych, wiązka promieni zielonych. Z kolei do schematycznego oznaczenia wiązki światła dogodniejsze jest stosowanie *promieni świetlnych* (patrz rys. 10.2).

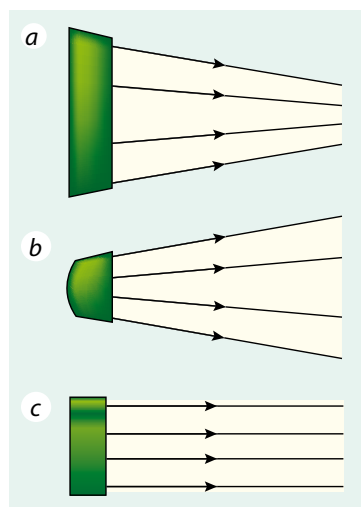
Promień świetlny – linia, wskazująca kierunek rozchodzenia się energii światła.

Więc, jeżeli w tekście napotkamy określenia typu: „promień światła pada”, „załamanie światła”, to będziemy pamiętać, że mamy na uwadze wiązkę światła, kierunek której jest zgodny z kierunkiem promienia.

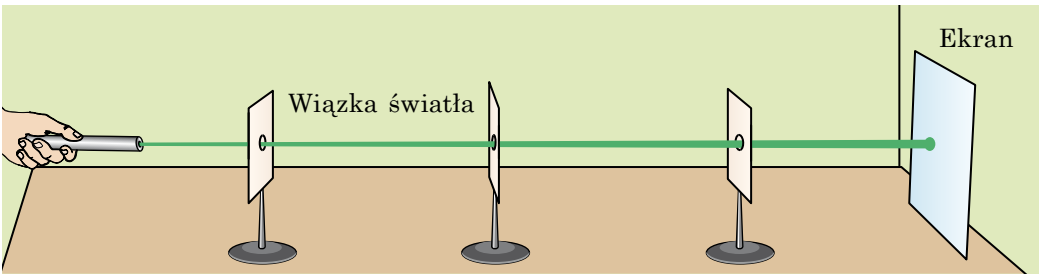
? Za pomocą rys. 10.1, 10.2 określ do jakich promieni należy wiązka promieni słonecznych. *Przypomnij sobie*, jak wyglądają tory kolejowe dla obserwatora, stojącego na kolei i patrzącego się na tory z daleka.



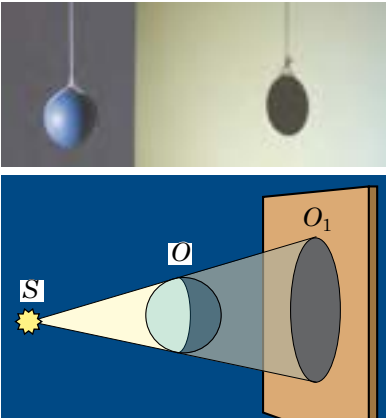
Rys. 10.1. Wiązki promieni słonecznych, przechodzących przez chmury



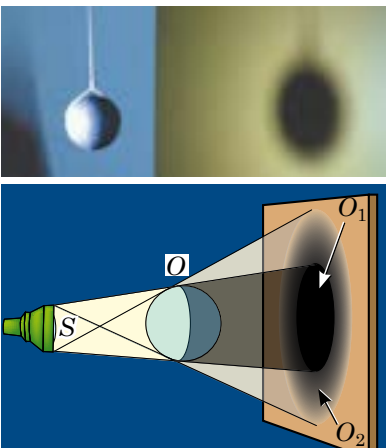
Rys. 10.2. Wiązka światła – są to promienie świetlne. Wiązki światła:
a – zbieżna; b – rozbieżna;
c – równoległa



Rys. 10.3. Doświadczenie prostoliniowego rozchodzenia się światła



Rys. 10.4. Powstanie całkowitego cienia O_1 od przedmiotu O , oświetlonego punktowym źródłem światła S



Rys. 10.5. Powstanie całkowitego cienia O_1 i półcienia O_2 od przedmiotu, oświetlonego rozciągniętym źródłem światła S

2 Przekonujemy się, że światło rozchodzi się prostoliniowo

Przeprowadzimy doświadczenie (patrz rys. 10.3). Rozmieścimy kolejnie źródło światła, kilka kartek tektury z otworami o średnicy około 5 mm, ekran. Kartki rozmieszczamy w taki sposób, aby na ekranie pojawiła się plama świetlna. Następnie gdy weźmiemy, na przykład, drut, to on z łatwością przejdzie przez otwory, czyli okaże się, że otwory znajdują się na jednej linii prostej.

Doświadczenie ilustruje nam **prawo prostoliniowego rozchodzenia się światła**:

W ośrodku jednorodnym promień świetlny biegnie po linii prostej.

Dane prawo opisał jeszcze 2500 lat temu starożytny uczony grecki *Euklides*. W geometrii pojęcie promienia jako linii prostej powstało na podstawie wyobrażeń o promieniach świetlnych.

3 Dowiadujemy się o powstawaniu cienia i półcienia

Jedną z konsekwencji prostoliniowego rozchodzenia się światła jest powstawanie cienia i półcienia. Dowlone ciało nieprzezroczyste, oświetlone źródłem światła, powoduje powstawanie **cienia**.

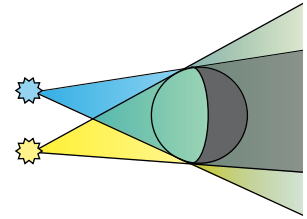
Jeżeli źródło światła jest punktowe, to otrzymany cień przedmiotu będzie wyraźny. W tym przypadku powstaje **całkowity cień** (rys. 10.4).

Obszar cienia, do którego nie trafia światło ze źródła światła, nazywamy obszarem **całkowitego cienia**.

Jeżeli ciało oświetlane jest rozciągniętym źródłem światła, to powstaje cień niewyraźny, czyli powstaje **półcień** (rys. 10.5).

Półcień – obszar przestrzeni, oświetlonej tylko przez niektóre z danych punktowych źródeł światła lub częścią źródła rozciągłego.

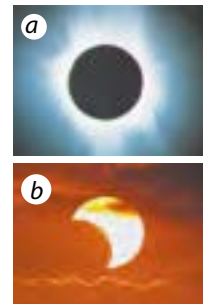
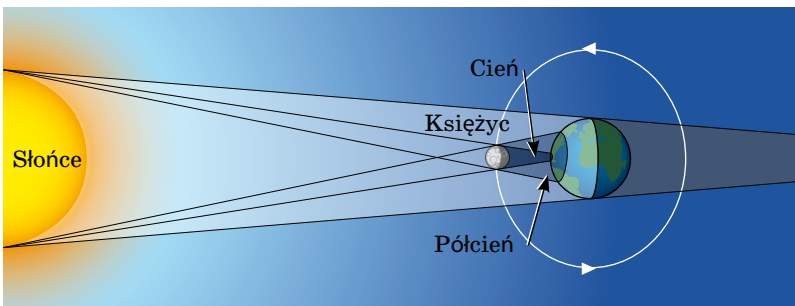
? Czy widzimy światło od źródła, znajdując się w obszarze całkowitego cienia? półcienia? Jak będzie wyglądał półcień (wyraźny czy nie bardzo wyraźny), jeżeli przedmiot naświetlany będzie dwoma punktowymi źródłami światła (patrz rys. 10.6)?



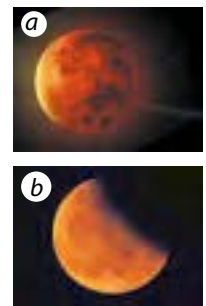
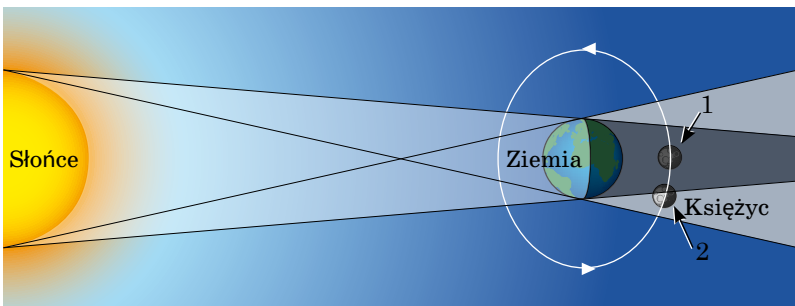
Rys. 10.6. Do zadania w § 10

Powstawanie całkowitego cienia i półcienia na skalę kosmiczną obserwujemy podczas zjawisk zaćmienia Słońca i Księżyc. Podczas zaćmienia Słońca, Księżyc (pełniący rolę kołowej przysłony) wchodzi między Słońce (będące odpowiednikiem rozciągłego źródła światła), a Ziemię. W obszarze cienia obserwujemy wtedy zjawisko **całkowitego zaćmienia Słońca** (rys. 10.7), natomiast w obszarze półcienia obserwujemy **zaćmienie częściowe**. W ciągu roku na Ziemi obserwujemy około 2–5 zaćmień słonecznych.

Podczas zaćmienia Księżyc rolę przysłony pełni Ziemia. W cień rzucany przez nią wchodzi Księżyc, powstaje **zaćmienie Księżyc** (rys. 10.8). W ciągu roku na Ziemi obserwujemy 2–4 zaćmienia Księżyc.



Rys. 10.7. Zaćmienie Słońca: *a* – całkowite (w obszarze całkowitego cienia); *b* – częściowe (w obszarze półcienia)

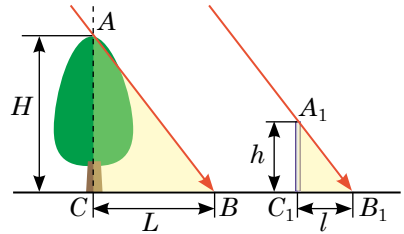


Rys. 10.8. Zaćmienie Księżyc: *a* – całkowite (Księżyc w położeniu 1); *b* – częściowe (Księżyc w położeniu 2)

4 Uczymy się rozwiązywać zadania

Zadanie. W dzień słoneczny długość cienia od pionowo postawionej metrowej linijki wynosi 24 cm, a długość cienia od drzewa – 3,6 m. Oblicz wysokość drzewa.

Analiza problemu fizycznego. Zadanie rozwiązujemy za pomocą prawa prostoliniowego rozchodzenia się światła. Wyjaśnijmy przedstawiony rysunek: wiązka światła, biegnąca od Słońca jest równoległa.



Dane:

$$h = 1 \text{ m}$$

$$l = 24 \text{ cm} = 0,24 \text{ m}$$

$$L = 3,6 \text{ m}$$

Znaleźć:

$H - ?$

Poszukiwanie modelu matematycznego, rozwiązanie

Z rysunku wynika, że $\triangle ACB \sim \triangle A_1C_1B_1$.

Z podobieństwa trójkątów otrzymujemy: $\frac{H}{h} = \frac{L}{l} \Rightarrow H = \frac{h \cdot L}{l}$.

Sprawdzamy jednostkę, obliczamy wartość szukanej wielkości:

$$[H] = \frac{\text{m} \cdot \text{m}}{\text{m}} = \text{m}; \quad H = \frac{1 \cdot 3,6}{0,24} = \frac{360}{24} = \frac{30}{2} = 15 \text{ (m)}.$$

Odpowiedź: $H = 15 \text{ m}$.



Podsumowanie

W ośrodku jednorodnym światło rozchodzi się prostoliniowo. Linie, wzdłuż której rozchodzi się energia światła, nazywamy promieniami świetlnymi.

Jedną z konsekwencji prostoliniowego rozchodzenia się światła jest powstawanie cienia i półcienia.

Całkowity cień – obszar przestrzeni, do której nie trafia światło od źródła (źródeł) światła. Półcień – obszar przestrzeni, oświetlony przez niektóre dane punktowe źródła światła lub części źródła rozciągłego.

Podczas zaćmienia Słońca i Księżyca obserwujemy powstawanie cienia i półcienia na skalę kosmiczną.



Pierwszymi przyrządami do pomiaru czasu były zegary słoneczne. Podstawą ich działania jest to, że długość i rozmieszczenie cienia od przedmiotu, naświetlanego przez słońce zmienia się w ciągu dnia.

Dowolny zegar słoneczny składa się z *kadranu* (tarcza zegara) i *gnomonu* (połosa, wskazówka zegara, wykonana z metalu, plastiku lub drewna).



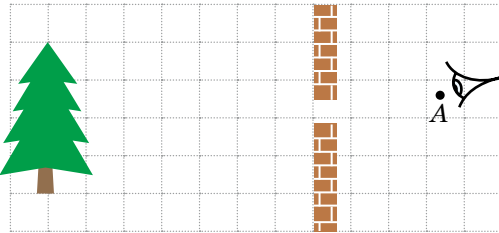
Pytania kontrolne

1. Podaj definicję promienia świetlnego.
2. Sformułuj prawo prostoliniowego rozchodzenia się światła.
3. Jakie doświadczenia i zjawiska potwierdzają prostoliniowe rozchodzenie się światła?
4. Jak powstaje całkowity cień i półcień?
5. Kiedy na Ziemi obserwujemy całkowite zaćmienie Słońca? częściowe zaćmienie Słońca?
6. Kiedy na Ziemi obserwujemy całkowite zaćmienie Księżyca? częściowe zaćmienie Księżyca?

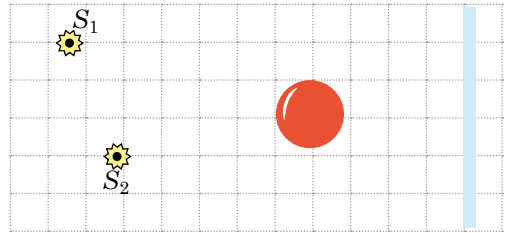


Ćwiczenie nr 10

1. Oko obserwatora znajduje się przed szczeliną w punkcie A (rys. 1). Za pomocą konstrukcji rysunku, wyznacz jaką część drzewa widzi człowiek. W jakim punkcie będzie ono całkowicie widoczne?
2. Piłkę oświetlamy dwoma punktowymi źródłami światła S_1 i S_2 (rys. 2). Wykonaj rysunek w zeszytcie, narysuj cień i półcień, rzucone przez piłkę na ekran.

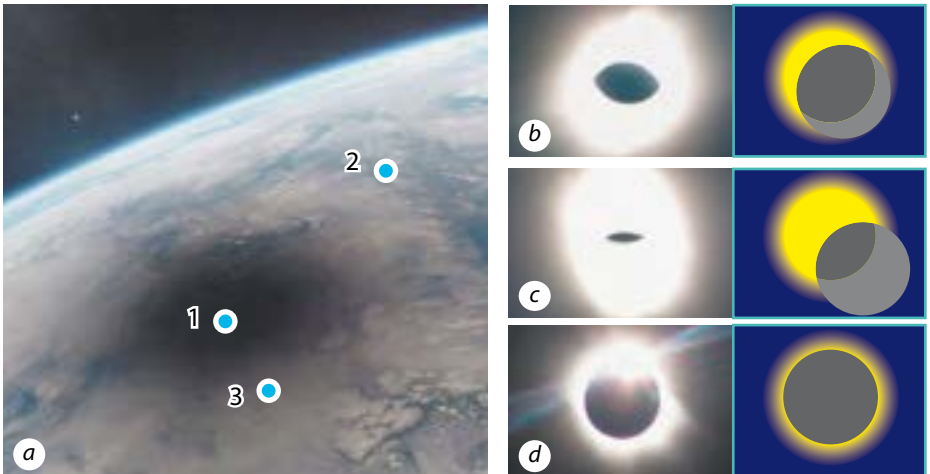


Rys. 1



Rys. 2

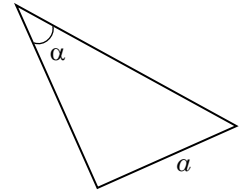
3. Podczas zaćmienia Słońca na powierzchni Ziemi powstają cień i półcień Księżyca (rys. 3, a). Na rys. 3, b–d podano zdjęcia tych zaćmień, zrobione w różnych punktach Ziemi. Które ze zdjęć jest zrobione w punkcie 1? w punkcie 2? w punkcie 3?



Rys. 3

4. Żarówka elektryczna w postaci kuli o średnicy 6 cm znajduje się na odległości 1 m od ekranu. Oblicz na jakiej najmniejszej odległości od ekranu należy umieścić piłeczkę pingpongową o średnicy 40 mm, aby nie rzucała ona cienia na ekran, żeby powstawał półcień.

5. Dlaczego samolot, lecący na wielkiej wysokości nie daje cienia nawet w dzień słoneczny? Wyjaśnij odpowiedź, zrób odpowiedni rysunek.
6. Kosmonauta, znajdujący się na Księżycu, obserwuje Ziemię. Co będzie widział w momencie, gdy na Ziemi jest całkowite zaćmienie Księżycy? częściowe zaćmienie Księżycy?
7. Pomyśl, dlaczego zaćmienie Księżycy obserwujemy częściej, niżeli zaćmienie Słońca, przecież w ciągu roku ich ilość jest prawie jednakowa.
8. Prosta ścieżka w parku jest oświetlona latarnią elektryczną. Zaproponuj sposób określenia wysokości, na której znajduje się latarnia, bez pomocy przyrządów do pomiaru długości (Znajdujesz się na ścieżce i znasz swój wzrost).
9. Na rys. 4 pokazano trójkąt prostokątny. Przekątna a równa się 5 cm, kąt α – 30° . Wyznacz przeciwprostokątną i drugą przyprostokątną trójkąta. Rozwiąż zadanie dwoma sposobami.



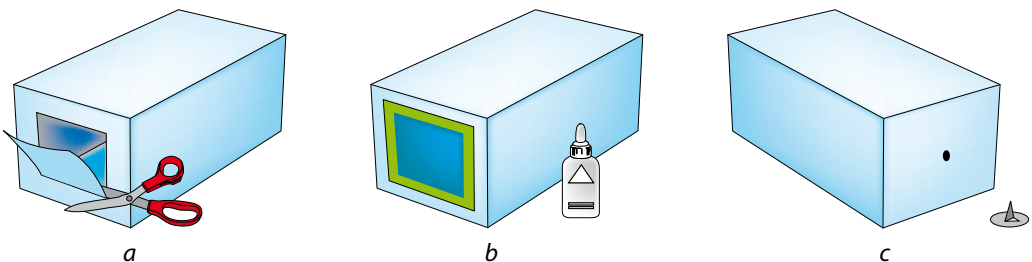
Rys. 4

Doświadczenie

1. Umieść świecę lub lampę na odległości 30–40 cm od ściany. Pomiedzy ścianą a świecą postaw dłoń. Zmieniając odległość od świecy do dłoni, obserwuj na ścianie zmiany. Opisz i wyjaśnij swoje obserwacje.
2. Zaproponuj, w jaki sposób za pomocą szpilki można sprawdzić, czy linia narysowana na papierze jest prosta.
3. Sporządź ciemnię optyczną (kamerę – obskurę, z łac. camera – pokój, obskura – ciemna), lub pinchol-kamerę (z ang. pinhole camera – kamera z otworem). Schemat działania danego urządzenia znaleziono w pracach Arystotelesa (IV w. p.n.e.) i chińskiego filozofa Mo Ti (V w. p.n.e.). Kamera-obskura była poprzednikiem współczesnego aparatu fotograficznego.

Do sporządzenia kamery:

- 1) w jednej ze ścian pudełka tekturowego zrób szpilką mały otworek (rys. 5 a); wytnij przeciwległą ściankę i zastąp ją matówką – kalką techniczną (rys. 5 b);
- 2) na przeciwnym boku pudełka zrób otwór o średnicy około 1 mm (rys. 5, c).



Rys. 5

W zaciemnionym pomieszczeniu skieruj otwór na płomień świecy i otrzymaj jej obraz na ekranie. Czy uzyskany obraz jest prosty czy odwrócony, powiększony czy pomniejszony, wyraźny czy niewyraźny? Przypomnij prawo prostoliniowego rozchodzenia się światła i wyjaśnij, jak powstał ten obraz.



§ 11. ODBICIE ŚWIATŁA. PRAWA ODBICIA ŚWIATŁA. ZWIERCIADŁO PŁASKIE

Większość obiektów nas otaczających: budynki, drzewa, koledzy z klasy itd., – nie są źródłami światła. Jednak widzimy je. Odpowiedź na pytanie „Dlaczego tak jest?” znajdziesz w tym paragrafie.

1 Wyjaśniamy dlaczego widzimy ciała, które nie są źródłami światła

Już wiesz, że w ośrodku optycznie jednorodnym światło rozchodzi się prostoliniowo. Co będzie, jeżeli na drodze wiązki światła znajdzie się dowolne ciało? Część światła przejdzie *przez* ciało, jeżeli jest ono przezroczyste, część będzie *pochłaniana* przez ciało, a część koniecznie *odbije się* od niego. Niektóre odbite promienie trafiają do naszych oczu i my widzimy dane ciało (rys. 11.1).

2 Ustalamy prawa odbicia światła

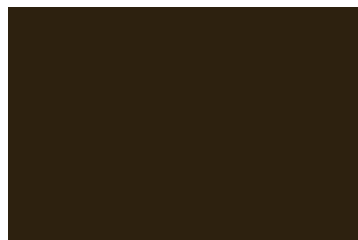
Prawa odbicia światła ustalamy za pomocą specjalnego przyrządu zwanego *półkrażkiem optycznym**. W środku półkrażka umocujemy zwierciadło i skierujemy na niego wąską wiązkę światła tak, aby na powierzchni półkrażka tworzyła ona jasne pasmo. Widzimy, że wiązka światła, odbita od zwierciadła, również tworzy jasne pasmo na powierzchni półkrażka (patrz rys. 11.2).

Kierunek wiązki padającego światła określamy promieniem CO (rys. 11.2). Promień nazywamy *padającym*. Kierunek wiązki odbitego światła wskazujemy promieniem OK . Promień nazywamy *odbitym*.

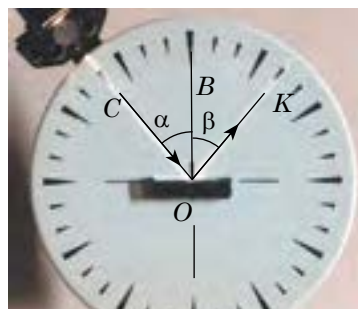
Z punktu O padania promienia przeprowadzamy prostą prostopadłą, czyli tzw. normalną OB do powierzchni zwierciadła. Zwróć uwagę na to, że *promienie padający i odbity oraz prosta prostopadła leżą w jednej płaszczyźnie*, – w płaszczyźnie powierzchni półkrażka.

Kąt α padania – kąt zawarty pomiędzy promieniem padającym a normalną poprowadzoną w punkcie **padania**; kąt β odbicia – kąt pomiędzy promieniem odbitym a normalną poprowadzoną w punkcie **odbicia**.

Mierząc kąty α i β , przekonasz się, że kąt odbicia jest zawsze równy kątowi padania.



Rys. 11.1. Jeżeli źródła światła nie ma, to nic nie zobaczymy. Jeżeli źródło światła jest, to zobaczymy nie tylko źródło, a również przedmioty, które odbijają światło, wychodzące ze źródła

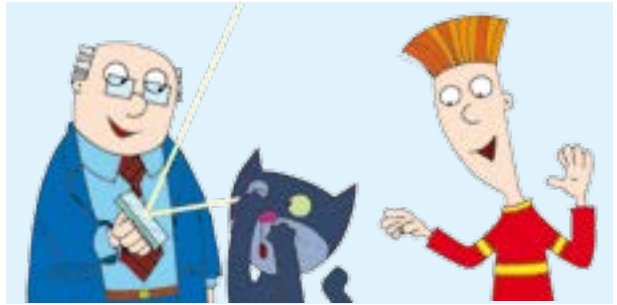


Rys. 11.2. Ustalanie praw odbicia światła za pomocą półkrażka optycznego: α – kąt padania; β – kąt odbicia

* *Półkrażek optyczny* – jest to tarcza biała, na której oznaczono podziałki, na brzegu tarczy ustawiono laser.



Rys. 11.3. Wraz ze zmianą kąta padania światła, zmienia się kąt odbicia. Kąt odbicia jest zawsze równy kątowi padania



Rys. 11.4. Do zadania w § 11



Rys. 11.5. Ilustracja odwracalności promieni świetlnych: promień odbity idzie drogą promienia padającego



Rys. 11.6. Niejednokrotnie patrząc do lustra (zwierciadła), widzisz swojego „sobowtóra”. W rzeczywistości, żadnego „sobowtóra” tam nie ma, – widzisz w lustrze swój obraz

Jeżeli będziemy przesuwając źródło światła brzegiem półkrażka, to kąt padania wiązki światła będzie zmieniać się, odpowiednio będzie zmieniać się kąt odbicia, przy czym *kąt padania i kąt odbicia będą równe* (rys. 11.3). Więc, ustaliliśmy **prawa odbicia światła**:

1. Promień padający, promień odbity oraz prostopadła do powierzchni odbijającej poprowadzona w punkcie padania światła leżą w jednej płaszczyźnie.
2. Kąt odbicia jest równy kątowi padania: $\beta = \alpha$.

Prawa odbicia światła ustalił starożytny grecki uczyony *Euklides* jeszcze w III w. p.n.e.

- ?** W jakim kierunku ma obrócić zwierciadło profesor, aby „zajaczkę słoneczną” trafiła na chłopczyka (rys. 11.4)?

Za pomocą zwierciadła na półkrażku optycznym można ilustrować **odwrotność promieni świetlnych**: *jeżeli promień padający biegnie wzdłuż drogi promienia odbitego, to promień odbity przejdzie tę samą drogę promienia padającego* (rys. 11.5).

3 Badamy obrazy w zwierciadle płaskim

Rozpatrzmy jak tworzy się obraz w zwierciadle płaskim (rys. 11.6). Z punktowego źródła światła *S* na powierzchnię zwierciadła płaskiego pada rozbieżna wiązka światła. Wyodrębnimy z

niej promieni SA , SB i SC . Stosując prawa odbicia światła, narysujemy promienie odbite AA_1 , BB_1 i CC_1 (rys. 11.7, a). Promienie będą wiązką rozbieżną. Jeżeli przedłużymy je w kierunku przeciwnym (za zwierciadło), wszystkie one przetną się w jednym punkcie – S_1 , znajdującym się za zwierciadłem.

Jeżeli część odbitych od zwierciadła promieni trafi w twoje oko, będzie tobie wydawać się, że promienie odbite wychodzą z punktu S_1 , chociaż w rzeczywistości żadnego źródła światła w punkcie S_1 nie ma. Dlatego punkt S_1 nazywamy **pozornym obrazem** punktu S . *Płaskie zwierciadło zawsze daje obraz pozorny.*

Wyjaśnijmy, jak są rozmieszczone przedmiot i jego obraz względem zwierciadła. W tym celu, sięgniemy do geometrii. Rozpatrzmy, na przykład promień SC , padający na zwierciadło i odbijający się od niego (rys. 11.7, b).

Rysunek pokazuje, że $\triangle SOC = \triangle S_1OC$ – są to trójkąty prostokątne, które mają wspólny bok CO i równe ostre kąty (tak jak zgodnie z prawem odbicia światła $\alpha = \beta$). Z równości trójkątów wynika, że $SO = S_1O$, czyli punkt S i jego obraz S_1 jest symetryczny względem powierzchni zwierciadła płaskiego.

Podobnie możemy powiedzieć o obrazie przedmiotu rozciągniętego: *przedmiot i jego obraz są symetryczne względem powierzchni zwierciadła płaskiego.*

Ustaliliśmy zatem ogólne **cechy obrazów w zwierciadłach płaskich.**

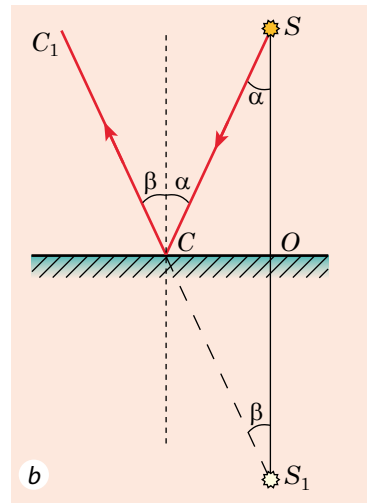
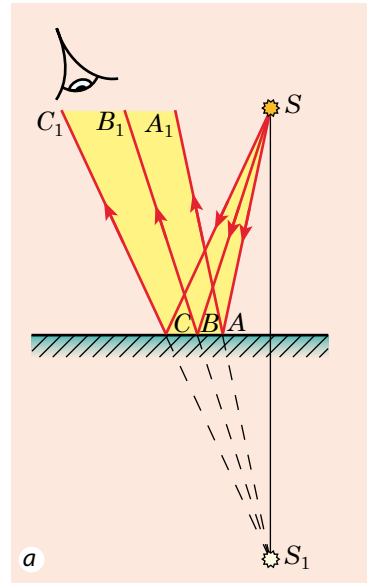
1. Obrazy powstałe przy użyciu zwierciadeł płaskich są pozorne.

2. Obrazy przedmiotów w zwierciadle płaskim są symetryczne względem powierzchni odbijającej, co znaczy:

1) obrazy mają tę samą wielkość co przedmioty;

2) obraz przedmiotu w zwierciadle płaskim znajduje się na tej samej odległości od powierzchni zwierciadła, co i przedmiot;

3) prosta, łącząca punkt na przedmiocie z punktem na obrazie, jest prostopadła do powierzchni zwierciadła.



Rys. 11.7. Konstrukcja obrazu punkтового źródła światła w zwierciadle płaskim: S – źródło światła; S_1 – pozorny obraz źródła światła

* 4 Lustrzane i rozproszone odbicia światła

Wieczorem, siedząc w pokoju, w którym pali się światło, możesz zobaczyć swój obraz w szybie okna. Jednak obraz zanika, jeżeli zasłonimy zasłony: patrząc się na tkaninę, swego obrazu nie zobaczysz.

Dlaczego nie możesz zobaczyć obrazu na tkaninie? Odpowiedź na pytanie dają przynajmniej dwa zjawiska fizyczne.

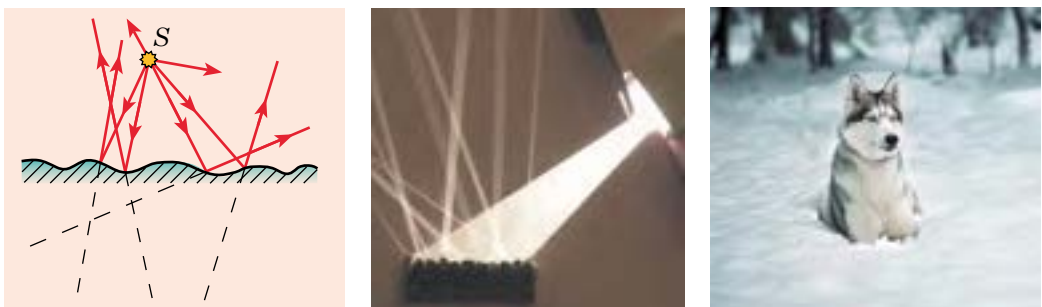
Pierwsze z nich – **odbicie światła**. Aby otrzymać obraz, światło powinno odbić się od powierzchni *lustrzanej*: po lustrzanym odbiciu światła, które idzie z punktowego źródła światła S , przedłużenie promieni odbitych przetnie się w punkcie S_1 , które będzie obrazem punktu S (rys. 11.8, a). Takie odbicie jest możliwe tylko od bardzo gładkich powierzchni. Nazywamy je *powierzchniami lustrzanymi*. Oprócz zwykłego zwierciadła, takimi powierzchniami są szkło, meble polerowane, spokojna woda i in. (rys. 11.8, b, c).

Jeżeli światło odbija się od powierzchni nierównej, chropowatej, to takie odbicie nazywamy *rozproszonym* lub *dyfuzyjnym* (rys. 11.9). W tym przypadku promienie odbite rozchodzą się w różnych kierunkach (dlatego widzimy oświetlony przedmiot z dowolnej strony). Powierzchni rozpraszających światło jest o wiele więcej, niżeli lustrzanych.

? Rozejrzyj się dookoła i wymień przynajmniej dziesięć powierzchni, które odbijają światło w sposób rozproszony.




Rys. 11.8. Lustrzane odbicie światła – jest to odbicie światła od gładkiej powierzchni



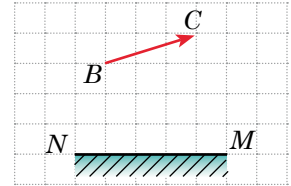
Rys. 11.9. Rozproszone odbicie światła – jest to odbicie światła od nierównej chropowatej powierzchni

Drugie zjawisko, które pomaga zobaczyć obraz, jest to zjawisko **pochłaniania światła**. Przecież światło nie tylko odbija się od ciał fizycznych, a także jest przez nie pochłaniane. Najlepsze odbijające ciała – zwierciadła: mogą odbijać około 95 % padającego światła. Dobrze odbijają światło ciała o białej barwie; czarna powierzchnia pochłania prawie całe padające na nią światło.

? Gdy jesienią pada śnieg, noce stają się o wiele jaśniejsze. Dlaczego? 

5 **Uczymy się rozwiązywać zadania**

Zadanie. Na rys. 1 jest podany schemat przedmiotu BC i zwierciadła MN . Odszukaj sposobem graficznym obraz przedmiotu BC .



Rys. 1

Analiza problemu fizycznego. W celu zobaczenia obrazu pewnego punktu w zwierciadle, potrzeba aby w oku obserwatora odbiła się chociażby część promieni, padających z danego punktu na zwierciadło. Jeżeli w oku odbijają się promienie, które wychodzą z krańcowych punktów przedmiotu, to w oku odbijają się również i promienie, wychodzące ze wszystkich punktów przedmiotu.

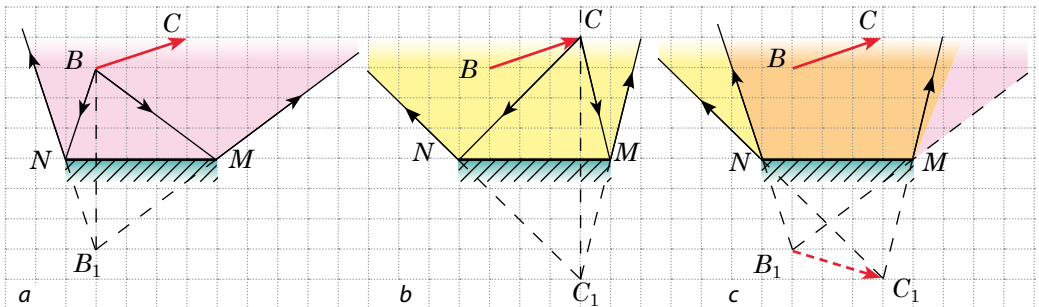
Rozwiązanie i analiza wyników

1. Otrzymamy konstrukcję punktu B_1 , który jest obrazem punktu B w zwierciadle płaskim (rys. 2, a). Obszar ograniczony powierzchnią zwierciadła i promieniami, odbitymi od krańcowych punktów zwierciadła będzie tym obszarem, z którego widać obraz punktu B_1 punktu B w zwierciadle.

2. Analogicznie otrzymujemy obraz punktu C_1 punktu C , określamy obszar jego widzenia w zwierciadle (rys. 2, b).

3. Zobaczyć przedmiot w całości obserwator będzie mógł tylko wtedy, gdy w jego oko będą trafiały promienie obu obrazów – B_1 i C_1 (rys. 2, c). Więc, pomarańczowy obszar jest to obszar, z którego przedmiot widzimy w całości.

? Zinterpretuj otrzymany wynik, ponownie zwracając się do rys. 2 zadania i zaproponuj łatwiejszy sposób znalezienia obszaru widzenia przedmiotu w zwierciadle płaskim. Sprawdź swoje przypuszczenia, konstruując obszar widzenia przedmiotów na dwa sposoby.



Rys. 2



Podsumowanie

Wszystkie ciała, które widzimy, odbijają światło. Podczas odbicia światła sprawdzają się dwa prawa odbicia światła: 1) promienie: padający i odbity oraz prosta prostopadła leżą w jednej płaszczyźnie; 2) kąt odbicia jest zawsze równy kątowi padania.

Obrazy otrzymane przy użyciu zwierciadeł płaskich są pozorne, mają tę samą wielkość co przedmioty, są symetryczne względem powierzchni odbijającej i nie są odwrócone.

* Rozróżniamy lustrzane i rozproszone odbicia światła. W przypadku lustrzanego odbicia widzimy pozorny obraz przedmiotu w powierzchni odbijającej; w przypadku rozproszonego odbicia obraz nie istnieje.



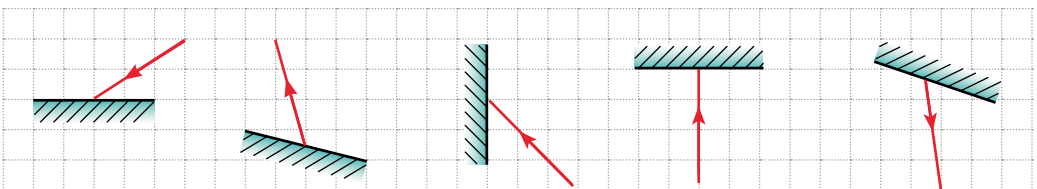
Pytania kontrolne

1. Dlaczego widzimy świat nas otaczający? 2. Jaki kąt nazywamy kątem padania? kątem odbicia? 3. Sformułuj prawa odbicia światła. 4. Za pomocą jakiego przyrządu można sprawdzać prawa odbicia światła? 5. Na czym polega właściwość odwracalności promieni świetlnych? 6. Jaki obraz nazywamy pozornym? 7. Opisz obraz w zwierciadle płaskim. * 8. Czym różnią się odbicia lustrzane i rozproszone?



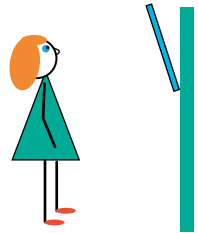
Ćwiczenie nr 11

1. Dziewczynka znajduje się na odległości 1,5 m od zwierciadła płaskiego. Na jakiej odległości będzie znajdował się jej obraz? Opisz ten obraz.
2. Kierowca samochodu, patrząc do lusterka, zobaczył w nim pasażera, siedzącego z tyłu za nim. Czy może pasażer w tym samym momencie zobaczyć kierowcę?
3. Narysuj rys. 1 w zeszyte. Dla każdego przypadku narysuj promień padający (lub odbity). Oznacz kąty padania i odbicia.
4. Kąt pomiędzy promieniami padającym i odbitym wynosi 80° . Ile wynosi kąt padania promienia?
5. Przedmiot znajduje się w odległości 30 cm od zwierciadła płaskiego. Następnie jest przesuwany na odległość 10 cm od zwierciadła w kierunku, prostopadłym do powierzchni zwierciadła, i o 15 cm – równoległe do niej. Określ odległość pomiędzy przedmiotem a jego obrazem przed i po przesunięciu przedmiotu.
6. Idziesz w kierunku powierzchni lustrzanej z prędkością 4 km/h. Z jaką prędkością zbliża się do ciebie twój obraz? O ile skraca się odległość pomiędzy tobą a obrazem, gdy przejdiesz 2 m?

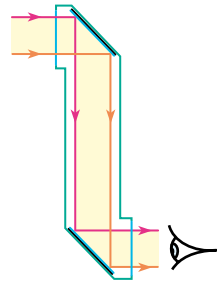


Rys. 1

7. Promień słoneczny odbija się od powierzchni jeziora. Kąt pomiędzy promieniem i równikiem jest dwukrotnie większy, niżeli kąt pomiędzy promieniami padającym i odbitym. Ile wynosi kąt padania promienia?
8. Dziewczynka patrzy do lustra, które wisi na ścianie pod niewielkim kątem (rys. 2).
 - 1) Zrób konstrukcję dziewczynki w lustrze.
 - 2) Określ, jaką część swego ciała widzi dziewczynka; obszar z którego dziewczynka jest widoczna w całości.
 - 3) Co będziesz obserwować, gdy lustro będzie stopniowo zakrywane nieprzezroczystym ekranem?
9. Kierowca w nocy w światłach samochodu widzi kałużę na asfalcie w postaci ciemnej plamy na jasnym tle jezdni. Dlaczego?
10. Na rys. 3 pokazano bieg promieni w *peryskopie* – przyrządzie, podstawą działania którego jest prostoliniowe rozchodzenie się światła. Wyjaśnij, jak pracuje ten przyrząd. Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się o jego zastosowaniu.



Rys. 2



Rys. 3

PRACA LABORATORYJNA NR 3



Temat. Badanie odbicia światła za pomocą zwierciadła płaskiego.

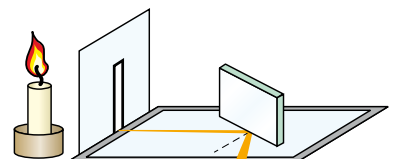
Cel: doświadczalnie sprawdzić prawa odbicia światła.

Przyrządy: linijka, kątomierz, ołówek, źródło światła (świeca lub żarówka elektryczna), zwierciadło płaskie, ekran ze szczeliną, kilka kartek białego papieru.

WYKONANIE PRACY

II Przygotowanie się do doświadczenia

1. Przed rozpoczęciem pracy, przypomnij sobie: 1) zasady bezpieczeństwa podczas pracy ze szklanymi przedmiotami; 2) prawa odbicia światła.
2. Zmontuj urządzenie doświadczalne (rys. 1). W tym celu:
 - 1) ustaw ekran ze szczeliną na białej kartce;
 - 2) przesuając źródło światła, uzyskaj na papierze pasmo światła;
 - 3) ustaw zwierciadło płaskie pod pewnym kątem do pasma i prostopadle do papieru; przekonaj się, że odbita wiązka światła tworzy na papierze widoczne pasmo.

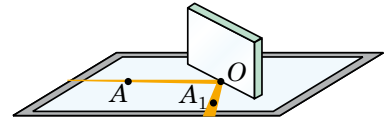


Rys. 1

Doświadczenie

Przestrzegaj zasad bezpieczeństwa.

1. Wzdłuż zwierciadła narysuj ostrym ołówkiem na papierze linię.
2. Narysuj trzy punkty: pierwszy – po środku wiązki światła padającego, drugi – po środku odbitej wiązki światła, trzeci – w miejscu padania wiązki świetlnej na zwierciadło (rys. 2).
3. Powtórz działania trzykrotnie (na różnych kartkach), ustawiając zwierciadło pod różnymi kątami do padającej wiązki światła.
4. Zmieniając kąt pomiędzy zwierciadłem a papierem, przekonaj się, że w tym przypadku nie zobaczysz odbitej wiązki światła.



Rys. 2

Opracowanie wyników doświadczenia

Dla każdego doświadczenia:

- 1) narysuj promień, padający na zwierciadło i promień odbity;
- 2) w punkcie padania promienia narysuj prostopadłą do powierzchni zwierciadła;
- 3) oznacz i zmierz kąt padania (α) i kąt odbicia (β) światła. Wyniki pomiarów zanotuj do tabeli.

Numer doświadczenia	Kąt padania α , stopień	Kąt odbicia β , stopień
1		
...		

Analiza doświadczenia i jego wyników

Analizując doświadczenie i jego wyniki wyciągnij wnioski, w którym zaznacz: 1) otrzymany stosunek pomiędzy kątem padania promienia świetlnego i kątem jego odbicia; 2) czy otrzymane wyniki doświadczeń okazały się dość dokładnymi, jeżeli nie, to wskaż, co miało wpływ na dokładność wyników.

+ Zadanie twórcze

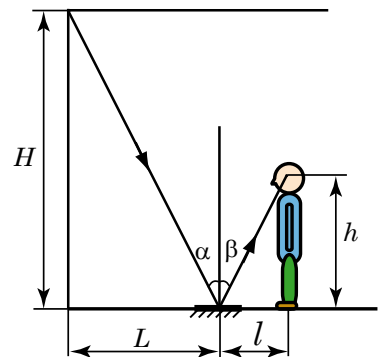
Stosując rysunek wymyśl i zapisz plan przeprowadzenia doświadczenia określenia wysokości pokoju za pomocą zwierciadła płaskiego; podaj niezbędne przyrządy. W razie możliwości przeprowadź doświadczenie.

*** Zadanie „z gwiazdką”**

Dla każdego doświadczenia oblicz względną niepewność pomiaru według wzoru:

$$\varepsilon = \left| 1 - \frac{\beta}{\alpha} \right| \cdot 100\%,$$

gdzie α – kąt padania; β – kąt odbicia.





§ 12. ZAŁAMANIE ŚWIATŁA NA GRANICY MIĘDZY DWOMA OŚRODKAMI. PRAWA ZAŁAMANIA ŚWIATŁA

W jednym ze starożytnych greckich traktatów jest opisane doświadczenie: „Należy stać w taki sposób, aby płaski pierścień, położony na dno naczynia, schował się za jego brzegiem. Następnie, nie zmieniając położenia oczu, wlać do naczynia wodę. Światło załamuje się na powierzchni wody i pierścień staje się widoczny” (patrz rys. 12.1). Taką „sztuczkę” obecnie możesz pokazać swojej rodzinie, jednak wyjaśnić ją będziesz mógł dopiero po przeczytaniu danego paragrafu.



Rys. 12.1. „Sztuczka” z monetą. Gdy w kubku nie ma wody, monety leżącej na dnie kubka nie widzimy (a); gdy nalewamy wodę, dno kubka jakby podnosi się i moneta staje się widoczna (b)

1 Ustalamy prawa załamania światła

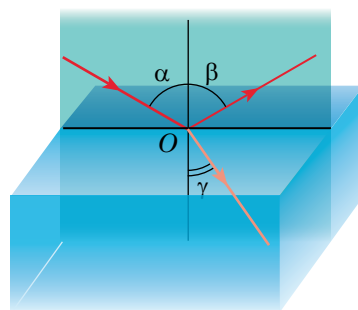
Przeprowadźmy doświadczenie (rys. 12.2). Skierujemy wąską wiązkę światła na płaską powierzchnię przezroczystego szklanego półwalca, umocowanego na półkrażku optycznym. Światło nie tylko odbije się od powierzchni walca, ale również częściowo przejdzie przez szkło. Zatem podczas przejścia z powietrza do szkła zmienia się kierunek rozchodzenia się światła.



Załamanie światła – zjawisko zmiany kierunku promienia świetlnego na granicy dwóch ośrodków.

Kąt γ (gamma) załamania – kąt pomiędzy promieniem załamanym a prostą prostopadłą do powierzchni granicznej w miejscu padania.

Przeprowadzając liczne doświadczenia z półkrażkiem optycznym zauważymy, że wraz ze zwiększeniem kąta padania, zwiększa się kąt załamania, a wraz ze zmniejszeniem kąta padania, zmniejsza się kąt załamania (rys. 12.3). Jeżeli światło pada prostopadłe na granicę między dwoma ośrodkami (kąt padania równa się zeru), to kierunek rozchodzenia światła nie zmienia się.



Rys. 12.2. Obserwacja załamania światła na granicy dwóch ośrodków powietrza i szkła: α – kąt padania; β – kąt odbicia; γ – kąt załamania



Rys. 12.3. Ustalanie praw załamania światła: przy zmniejszeniu kąta padania ($\alpha_2 < \alpha_1$) kąt załamania również zmniejsza się ($\gamma_2 < \gamma_1$), przy czym $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \gamma_1} = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \gamma_2}$

Pierwsze wzmianki o załamaniu światła możemy znaleźć w pracach starożytnego filozofa *Arystotelesa* (IV w. p.n.e.), który myślał: „Dlaczego patyk w wodzie wydaje się nam złamany? Prawo, które ilościowo opisuje załamanie światła, zostało ustalone dopiero w 1621 r. przez holenderskiego uczonego *Willebrorda Snela van Royena* (1580–1626).

Prawa załamania światła:

1. Promień padający, promień załamany i prostopadła do powierzchni granicznej w punkcie padania leżą w jednej płaszczyźnie.
2. Padający na granicę między dwoma ośrodkami promień światła załamuje się tak, że iloraz sinusa kąta padania i sinusa kąta załamania jest stały:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21},$$

gdzie n_{21} – wielkość fizyczna, zwana *względny współczynnikiem załamania ośrodka 2* (ośrodka, w którym światło rozchodzi się po załamaniu) *względem ośrodka 1* (ośrodka, z którego światło pada).

2 Dowiadujemy się o przyczynie załamania światła

Dlaczego światło, przy padaniu na granicy dwóch ośrodków zmienia swój kierunek?

Dzieje się tak dlatego, że w różnych ośrodkach światło rozchodzi się z różną prędkością, lecz zawsze powolniej, niżeli w próżni. Na przykład, w wodzie prędkość rozchodzenia się światła jest 1,33 razy mniejsza, niż w próżni; na granicy woda – szkło, prędkość rozchodzenia się światła zmniejsza się jeszcze 1,3 razy; w powietrzu prędkość rozchodzenia się światła jest 1,7 razy większa, niż w szkłe, i niewiele (w przybliżeniu 1,0003 razy) mniejsza, niż w próżni.

Właściwie zmiana rozchodzenia się światła na granicy dwóch przezroczystych ośrodków jest przyczyną załamania światła.

O **optycznej gęstości ośrodka** mówimy: im mniejsza jest prędkość rozchodzenia się światła w ośrodku (im większy jest współczynnik załamania), tym większa jest optyczna gęstość ośrodka.

- ❓ Jak uważasz, jaki ośrodek jest optycznie gęstszy – woda czy szkło? optycznie rzadszy – szkło czy powietrze?

3 Wyjaśnijmy sens współczynnika załamania

Względny współczynnik załamania (n_{21}) wskazuje, ile razy prędkość rozchodzenia się światła w ośrodku 1 jest większa od prędkości rozchodzenia się światła w ośrodku 2:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$$

Stosując drugie prawo załamania światła: $n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$, otrzymujemy:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2}$$

Po przeanalizowaniu ostatniego wzoru, wnioskujemy:

1) *im bardziej zmienia się prędkość światła, tym więcej ono załamuje się;*
 2) *przy przejściu promienia świetlnego do ośrodka optycznie gęstszego (czyli prędkość światła zmniejsza się: $v_2 < v_1$), kąt załamania jest mniejszy od kąta padania: $\gamma < \alpha$ (patrz na przykład rys. 12.2, 12.3);*

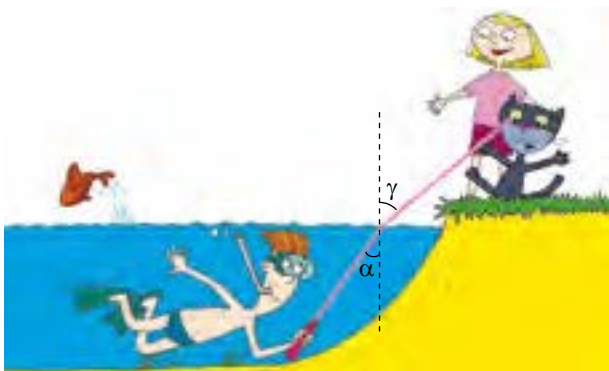
2) *przy przejściu promienia świetlnego do ośrodka optycznie rzadszego (czyli prędkość światła zwiększa się: $v_2 > v_1$), kąt załamania jest większy od kąta padania: $\gamma > \alpha$ (rys. 12.4).*

Zwykle prędkość rozchodzenia się światła w ośrodku porównujemy z prędkością jego rozchodzenia się w próżni. Gdy światło trafia do ośrodka z próżni, to współczynnik załamania n nazywamy *bezwzględnym współczynnikiem załamania*.

Bezwzględny współczynnik załamania wskazuje, ile razy prędkość rozchodzenia się światła w ośrodku jest mniejsza, niżeli w próżni:

$$n = \frac{c}{v},$$

gdzie c – prędkość rozchodzenia się światła w próżni ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s); v – prędkość rozchodzenia się światła w ośrodku.



Rys. 12.4. Przy przejściu światła z ośrodka optycznie gęstszego do ośrodka optycznie rzadszego kąt załamania jest większy niż kąt padania ($\gamma > \alpha$)

Substancja	Bezwzględny współczynnik załamania n
Powietrze	1,0003
Lód	1,31
Woda	1,33
Benzyna	1,50
Szkło	1,43–2,17
Kwarc	1,54
Diament	2,42

Prędkość rozchodzenia się światła w próżni jest większa, niżeli w dowolnym ośrodku, dlatego bezwzględny współczynnik załamania jest zawsze większy od jedności (patrz tabelę).

Zwróć uwagę: $n_{\text{powietrza}} \approx 1$, dlatego badając przejście światła z powietrza do ośrodka uważamy, że względny współczynnik załamania ośrodka równa się bezwzględnemu współczynnikowi.

Zjawisko załamania światła jest podstawą pracy licznych przyrządów optycznych, o których dowiesz się później.

* 4 Stosowanie zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia światła

Rozważmy przypadek, gdy światło przechodzi z ośrodka optycznie gęstszego do ośrodka optycznie rzadszego (rys. 12.5). Jak widać, przy zwiększeniu kąta padania ($\alpha_2 > \alpha_1$) kąt załamania γ przybliża się do 90° , jasność wiązki załamanej zmniejsza się, a jasność odbitej, na odwrót – zwiększa się. Przy dalszym zwiększeniu kąta padania, kąt załamania osiąga wartości 90° . Wiązka załamana zanika, wiązka padająca całkowicie (bez strat energii) wraca do pierwszego ośrodka – światło całkowicie odbija się.

Całkowite wewnętrzne odbicie – odbicie światła bez strat energii na granicy ośrodków; zachodzi podczas przechodzenia światła z ośrodka o większym współczynniku załamania do ośrodka o mniejszym współczynniku załamania, gdy kąt padania jest większy od kąta granicznego.

Zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia jest znane tym z was, którzy chociażby raz nurkowali w wodzie z otwartymi oczami (rys. 12.6).



Rys. 12.5. Przy padaniu światła ze szkła do powietrza, w przypadku zwiększenia kąta padania, kąt załamania zbliża do 90° , jasność światła zmniejsza się



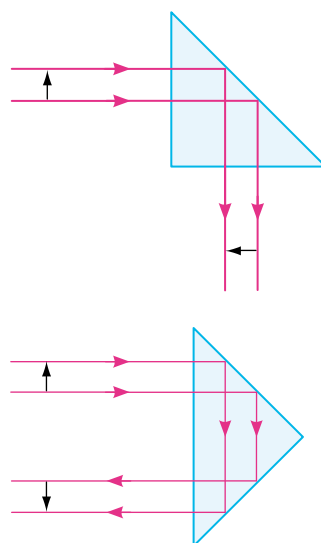
Rys. 12.6. Dla obserwatora, znajdującego się pod wodą, część wody wydaje się błyszcząca, podobnie jak zwierciadło

Jubilerzy w ciągu stuleci wykorzystują zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia w celu podwyższenia piękności kamieni szlachetnych. Kamienie naturalne są szlifowane by nadać im kształtu wielościanówki kamienia pełnią rolę „Zwierciadeł wewnętrznych” i kamień migocze w promieniach padającego światła.

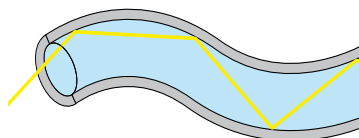
Całkowite odbicie światła jest wykorzystywane w technice optycznej (rys. 12.7). Jednak najważniejsze jego zastosowanie jest powiązane z **fizyką elektroniczną**. Zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia znalazło zastosowanie w **światłowodach**. Są to cienkie, elastyczne włókna, wykonane ze szkła kwarcowego lub plastiku. Promień świetlny wielokrotnie odbija się od wewnętrznych ścianek i biegnie wzdłuż włókna mimo jego załamań i skrętów (rys. 12.8).

Światłowody stosuje się szeroko w diagnostycznych przyrządach medycznych, zwanych endoskopami; w technice w celach odnalezienia defektów wewnątrz silników; do oświetlenia światłem słonecznym zamkniętych pomieszczeń; w ozdobnych lampach (rys. 12.9).

Jednak najlepiej sprawdza się światłowód do przekazywania informacji (rys. 12.10). Obecnie światłowody są produkowane z włókien szklanych cienkich jak pajęczyna, a kable złożone z takich nici służą do przekazywania informacji m.in. w telekomunikacji. Takie kable są o wiele tańsze niż zwykle miedziane, praktycznie nie zmieniają swoich właściwości pod wpływem środowiska naturalnego, pozwalają przekazywać więcej informacji. Obecnie włókiennie-optyczne linie łączności powszechnie zastępują tradycyjne. Gdy będziesz oglądać telewizję lub korzystać z Internetu pamiętaj, że większą część swojej „drogi” sygnał biegnie „drogą szklaną”.



Rys. 12.7. W większości przyrządów optycznych kierunek rozchodzenia się światła zmienia się za pomocą pryzmatów całkowitego odbicia: a – pryzmat obraca obraz; b – pryzmat przewraca obraz



Rys. 12.8. Bieg promienia świetlnego w światłowodzie



Rys. 12.9. Ozdobna lampa ze światłowodami



Rys. 12.10. Kabel optyczny włókienny

5 Uczymy się rozwiązywać zadania

Zadanie. Promień świetlny przechodzi z ośrodka 1 do ośrodka 2 (rys. 12.11, a). Prędkość rozchodzenia się światła w ośrodku 1 wynosi $2,4 \cdot 10^8$ m/s. Wyznacz bezwzględny współczynnik załamania ośrodka 2 i prędkość światła w danym ośrodku.

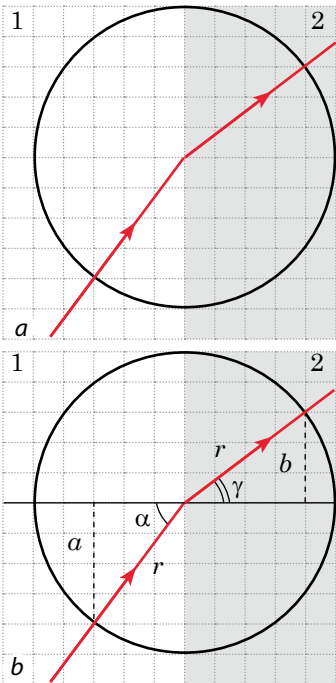
Analiza problemu fizycznego. Z rys. 12.11, a widać, że na granicy dwóch ośrodków światło załamuje się, więc prędkość jego rozchodzenia zmienia się.

Wykonamy konstrukcję rysunku (rys. 12.11, b), na którym:

- 1) narysujemy promień, dane w warunku zadania;
- 2) przeprowadzimy z punktu padania promienia prostopadłą do granicy dwóch ośrodków;
- 3) oznaczymy α kąt padania i γ – kąt załamania.

Bezwzględny współczynnik załamania – jest to współczynnik załamania względem próżni. Aby rozwiązać zadanie, należy podać wartość prędkości światła w próżni i obliczyć prędkość światła w ośrodku 2 (v_2).

Aby znaleźć v_2 należy wyznaczyć sinusy kąta padania i kąta załamania.



Rys. 12.11. Do zadania w § 12

Dane:

$$v_1 = 2,4 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Znaleźć:

$$n_2 - ?$$

$$v_2 - ?$$

Poszukiwanie modelu matematycznego, rozwiązanie

Zgodnie z definicją bezwzględnego współczynnika załamania:

$$n_2 = \frac{c}{v_2}.$$

Tak jak, $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$, to $v_2 = \frac{v_1 \sin \gamma}{\sin \alpha}$.

Z rys. 12.11, b widać, że $\sin \alpha = \frac{a}{r}$, a $\sin \gamma = \frac{b}{r}$, gdzie r – promień okręgu.

Obliczymy wartość wielkości szukanych:

$$\sin \alpha = \frac{a}{r} = \frac{4}{5} = 0,8, \quad \sin \gamma = \frac{b}{r} = \frac{3}{5} = 0,6;$$

$$v_2 = \frac{2,4 \cdot 10^8 \cdot 0,6}{0,8} = 1,8 \cdot 10^8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right); \quad n_2 = \frac{3 \cdot 10^8}{1,8 \cdot 10^8} = \frac{30}{18} = \frac{5}{3} \approx 1,7.$$

Analiza rozwiązania. Według warunku zadania kąt padania jest większy od kąta załamania, co znaczy, że prędkość światła w ośrodku 2 jest mniejsza od prędkości światła w ośrodku 1. Więc, otrzymane wyniki są prawidłowe.

Odpowiedź: $n_2 \approx 1,7$; $v_2 = 1,8 \cdot 10^8$ m/s.



Podsumowanie

Wiązka światła, padając na granicę dwóch ośrodków, dzieli się na dwa promienie. Jeden z nich – odbity – odbija się od powierzchni, opisują go prawa odbicia światła. Drugi – załamany – przechodzi do drugiego ośrodka, zmieniając swój kierunek.

Prawa załamania światła:

1. Promień padający, promień załamany i prostopadła do powierzchni granicznej w punkcie padania leżą w jednej płaszczyźnie.

2. Padający na granicę między dwoma ośrodkami promień załamuje się tak, że iloraz sinusa kąta padania α i sinusa kąta załamania γ jest stały: $\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21}$.

Przyczyną załamania światła jest zmiana prędkości jego rozchodzenia się w przypadku przejścia z jednego ośrodka do drugiego. Względny współczynnik załamania n_{21} wskazuje, ile razy prędkość rozchodzenia się światła w ośrodku 1 jest większa (lub mniejsza), niżeli prędkość rozchodzenia się światła w środowisku 2: $n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2}$.

Jeżeli światło przechodzi do ośrodka z próżni, współczynnik załamania n nazywamy bezwzględnym współczynnikiem załamania: $n = c/v$.

Jeżeli podczas przejścia światła z ośrodka 1 do ośrodka 2 prędkość rozchodzenia się światła zmniejsza się (czyli współczynnik załamania ośrodka 2 jest większy od współczynnika załamania 1: $n_2 > n_1$), to uważamy, że światło przeszło z ośrodka optycznie rzadszego do ośrodka optycznie gęstszego (i na odwrót).



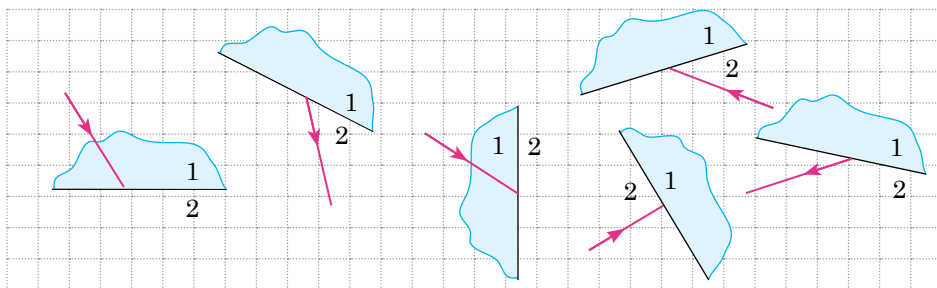
Pytania kontrolne

1. Jakie doświadczenia potwierdzają zjawisko załamania światła na granicy dwóch ośrodków?
2. Sformułuj prawa załamania światła.
3. W czym tkwi przyczyna załamania światła.
4. Na co wskazuje współczynnik załamania światła?
5. Jak jest powiązana prędkość rozchodzenia się światła z optyczną gęstością ośrodka?
6. Podaj definicję bezwzględnego współczynnika załamania.



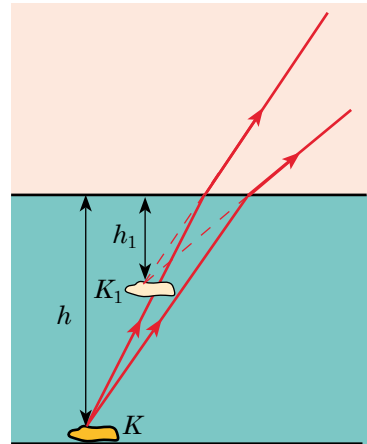
Ćwiczenie nr 12

1. Narysuj w zeszyte rys. 1 uważając, że ośrodek 1 jest optycznie gęstszy od ośrodka 2, narysuj schematycznie promień padający (lub załamany), oznacz kąty padania i załamania.

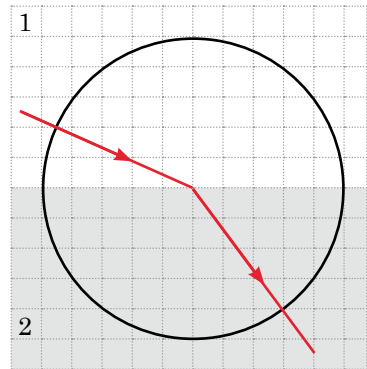


Rys. 1

2. Oblicz prędkość rozchodzenia się światła w diamencie; wodzie; powietrzu.
3. Promień świetlny pada z powietrza do wody pod kątem 60° . Kąt pomiędzy promieniami odbitym i załamanym równa się 80° . Oblicz kąt załamania promienia.
4. Stojąc na brzegu zbiornika wodnego, próbujemy wyznaczyć na oko jego głębokość, wydaje się ona zawsze mniejsza, niżeli jest w rzeczywistości. Za pomocą rys. 2, wyjaśnij, dlaczego tak jest.
5. Za jaki czas światło dochodzi od dna jeziora o głębokości 900 m do powierzchni wody?
6. Wyjaśnij „sztuczkę” z pierścieniem (monetą), opisaną na początku § 12 (patrz rys. 12.1).
7. Promień świetlny przechodzi z ośrodka 1 do ośrodka 2 (rys. 3). Prędkość rozchodzenia się światła w ośrodku 1 wynosi $2,5 \cdot 10^8$ m/s. Określ:
 - 1) optyczna gęstość którego ośrodka jest większa;
 - 2) współczynnik załamania ośrodka 2 względem ośrodka 1;
 - 3) prędkość rozchodzenia się światła w ośrodku 2;
 - 4) bezwzględny współczynnik załamania każdego ośrodka.
8. Skutkiem załamania światła w atmosferze Ziemi jest powstanie miraży, a także to, że widzimy Słońce i gwiazdy powyżej ich rzeczywistego położenia. Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się więcej o tych zjawiskach przyrody.



Rys. 2



Rys. 3



Doświadczenie

1. „Sztuczka z monetą”. Pokaż komuś ze swoich kolegów doświadczenie z monetą (patrz rys. 12.1). Wyjaśnij je.

2. „Wodne zwierciadło”. Zaobserwuj całkowite odbicie światła. Napełnij szklankę do połowy wodą. Wrzuć do niej dowolny przedmiot, na przykład długopis plastikowy, można z napisem.

Trzymając szklankę w ręku, umieść ją na odległości 25–30 cm od oczu (patrz rysunek). Podczas doświadczenia uważnie obserwuj długopis.

Podnosząc oczy będziesz widzieć cały długopis (część podwodną i część nadwodną). Powoli odsuwaj od siebie szklankę, nie zmieniając wysokości jej położenia. Gdy szklanka będzie dość daleko od twoich oczu, powierzchnia wody będzie wydawać się na lustrzaną – zobaczysz lustrzany obraz podwodnej części długopisu. Wyjaśnij obserwowane zjawisko.



PRACA LABORATORYJNA NR 4



Temat. Badanie załamania światła.

Cel: obliczyć współczynnik załamania szkła względem powietrza.

Przyrządy: szklana płytką, ołówek, ekierka ze skalą milimetrową, cyrkiel.

WYKONANIE PRACY

II Przygotowanie się do doświadczenia

1. Przed początkiem pracy, przypomnij sobie:

- 1) zasady bezpieczeństwa z ciałami szklanymi;
- 2) prawa załamania światła;
- 3) wzór obliczenia współczynnika załamania.

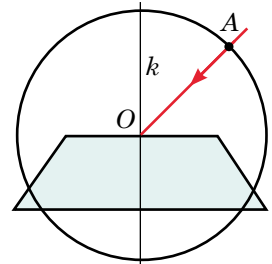
2. Przygotuj rysunki do wykonania pracy (patrz rys. 1). W tym celu:

- 1) połóż na kartkę zeszytu szklaną płytkę i oprowadź ją ostro zatemperowanym ołówkiem;
- 2) na odcinku, który odpowiada położeniu górnej załamanej ściany płytki:

- oznacz punkt O ;
- przeprowadź przez punkt O prostą k , prostopadłą do danego odcinka;
- za pomocą cyrkla narysuj okrąg o promieniu 2,5 cm ze środkiem w punkcie O ;

3) pod kątem około 45° narysuj promień, określający kierunek wiązki światła, padającej w punkt O ; oznacz punkt przecięcia promienia i okręgu literą A ;

4) powtórz dwukrotnie działania, opisane w punktach 1–3 (narysuj jeszcze dwa rysunki), najpierw zwiększając, a następnie zmniejszając dany kąt padania promienia światła.



Rys. 1

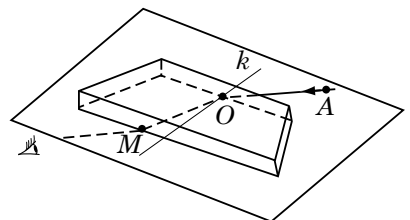
Doświadczenie

Przestrzegaj zasad bezpieczeństwa

1. Połóż szklaną płytkę na pierwszy rysunek.

2. Patrząc na promień AO przez szkło, zaznacz obok dolnej ściany płytki punkt M tak, aby wydawało się, że jest ona rozmieszczona na przedłużeniu promienia AO (rys. 2).

3. Powtórz działania, opisane w punktach 1 i 2, jeszcze dla dwóch rysunków.



Rys. 2

► Opracowanie wyników doświadczenia

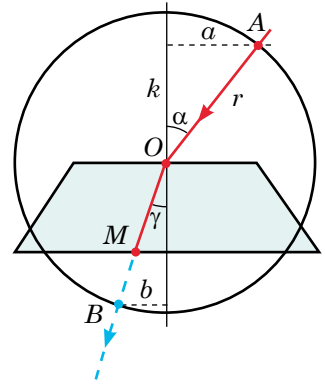
Wyniki pomiarów i obliczeń zapisz do tabeli.

Dla każdego doświadczenia (patrz rys. 3):

- 1) narysuj załamany promień OM .
- 2) odszukaj punkt przecięcia promienia OM z okręgiem (punkt B).
- 3) z punktów A i B poprowadź prostopadłe do prostej k , zmierz długości a i b otrzymanych odcinków i promień okręgu r .
- 4) wyznacz współczynnik załamania szkła względem powietrza:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}, \text{ gdzie } \sin \alpha = \frac{a}{r}, \text{ a } \sin \beta = \frac{b}{r}, \text{ dlatego}$$

$$n = \frac{a}{b}.$$



Rys. 3

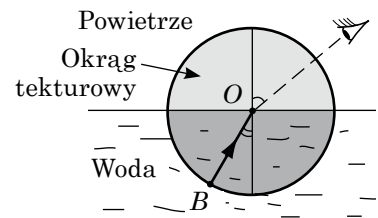
Numer doświadczenia	Długość odcinka a , mm	Długość odcinka b , mm	Względny współczynnik załamania n
1			
...			

□ Analiza doświadczenia i jego wyników

Zinterpretuj doświadczenie i jego wyniki. Wyciągnij wniosek, w którym zaznacz: 1) jaką wielkość fizyczną wyznaczaliśmy; 2) jaki wynik otrzymaliśmy; 3) czy zależy wartość otrzymanej wielkości od kąta padania światła; 4) podaj przyczyny możliwej niepewności doświadczenia.

+ Zadanie twórcze

Za pomocą rys. 4, wymyśl i zapisz plan przeprowadzenia doświadczenia wyznaczenia współczynnika załamania wody względem powietrza. W razie możliwości przeprowadź doświadczenie.



Rys. 4

* Zadanie „z gwiazdką”

Dla jednego z doświadczeń oblicz względną niepewność doświadczenia według wzoru:

$$\varepsilon = \left| 1 - \frac{n_{\text{wym}}}{n} \right| \cdot 100\%,$$

gdzie n_{wym} – otrzymana z doświadczenia wartość współczynnika załamania szkła względem powietrza; n – tabelaryczna wartość bezwzględnego współczynnika załamania szkła, z którego sporządzona jest płytka (zapytaj nauczyciela).

§ 13. ДИСПЕРСІЯ ŚWIATŁA. WIDMO ŚWIATŁA BIAŁEGO. BARWY

Przypomnij sobie: lato, dzień słoneczny – i raptem na niebie pojawia się chmurka, pada deszcz, który jakby „nie zauważa”, że słońce wciąż świeci. Taki deszcz nazywamy ślepym. Deszczyk nie zdąża przestać padać, a na niebie pojawia się różnobarwna tęcza (rys. 13.1). Dlaczego ona się pojawia?



Rys. 13.1. Tęczę można obserwować na kropkach wody fontanny lub wodospadu

1 Rozszczepienie światła słonecznego na widmo

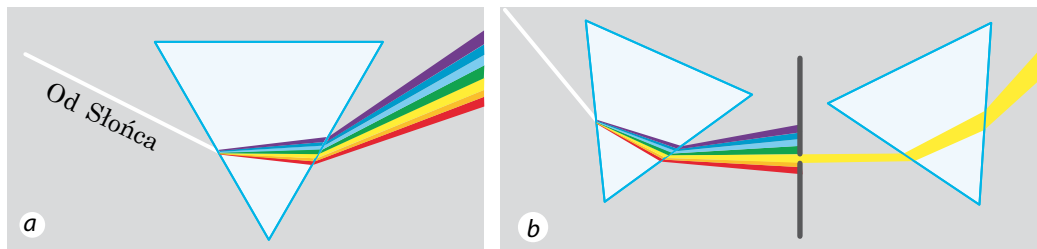
Już dawno temu zauważono, że wiązka światła słonecznego, po przejściu przez pryzmat szklany nie jest biała, a wygląda jak barwna smuga. Myślano, że przyczyną tego zjawiska tkwi w zdolności pryzmatu do zabarwiania światła. Czy jest tak w rzeczywistości, wyjaśnił w 1665 r. wybitny uczyony angielski *I. Newton* (1643–1727), przeprowadzając serię ciekawych doświadczeń.

Aby otrzymać wąską wiązkę światła słonecznego, Newton zrobił w okienku niewielki okrągły otwór. Przed otworem ustawił pryzmat szklany, na przeciwnej ścianie pojawiło się różnobarwne pasmo, które uczyony nazwał **widmem**. Newton wyodrębnił (podobnie jak w tęczy) siedem barw: *czerwona, pomarańczowa, żółta, zielona, błękitna, niebieska, fioletowa* (rys. 13.2, *a*).

Następnie uczyony za pomocą ekranu z otworem wyodrębnił z szerokiej różnobarwnej wiązki światła wąskie jednobarwne (monochromatyczne) wiązki i ponownie skierował je na pryzmat. Wiązki były odchylane przez pryzmat, lecz nie rozszczepiały się na widmo (rys. 13.2, *b*). Przy tym najbardziej odchylała się fioletowa wiązka światła, a najmniej – czerwona.

Analizując doświadczenia, Newton wyciągnął *wnioski*:

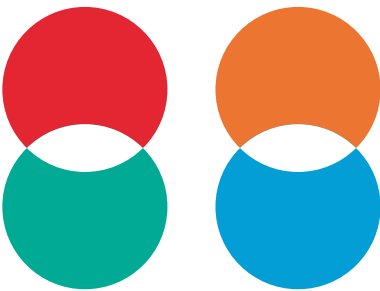
- 1) wiązka światła białego (słonecznego) składa się ze światła o różnych barwach;
- 2) pryzmat nie „koloruje” białego światła, a rozdziela je (rozszczepia na widmo) przez różne załamanie światła o różnej barwie.



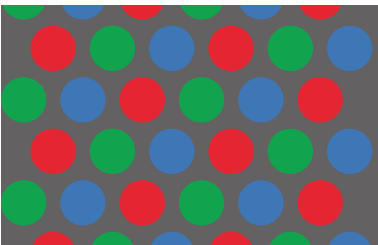
Rys. 13.2. Schemat doświadczeń I. Newtona

Porównaj rys. 13.1 i 13.2: barwy tęczy – są to barwy widma. Nic dziwnego, bo w rzeczywistości tęcza – jest ogromnym widmem światła słonecznego.

Jedną z przyczyn powstawania tęczy polega na tym, że bardzo dużo małych kropelek wody załamuje światło białe.



Rys. 13.3. Niektóre dodatkowe barwy



Rys. 13.4. Jeżeli obejrzymy ekran komputera przez lupę, to możemy zobaczyć wiele niewielkich okręgów o czerwonej, zielonej i niebieskiej barwie



Dowiadujemy się o dyspersji światła

Doświadczenia Newtona pokazują, że promienie fioletowe po przejściu przez pryzmat szklany załamują się więcej, niżeli czerwone. To znaczy, że *dla światła o różnych barwach współczynnik załamania jest różny*. Właściwie dlatego światło jest białe i rozszczepia się na widmo.

Zjawisko rozszczepienia światła na barwy składowe, uwarunkowane zależnością współczynnika załamania ośrodka od barwy światła, nazywamy **dyspersją światła**.

Dla większości przezroczystych ośrodków największy współczynnik załamania ma światło fioletowe, najmniejszy – czerwone.

? Światło o jakiej barwie – czerwonej czy fioletowej – rozchodzi się w szkłe szybciej?
Podpowiedź: przypomnij sobie zależność współczynnika załamania środowiska od prędkości rozchodzenia się światła. ←

3

Barwy światła

Widmo światła białego składa się z siedmiu barw. Jednak nigdy nie będziesz mógł wyodrębnić, na przykład barwy brązowej czy różowej. Są to barwy *złożone* – powstają *na skutek nakładania się (mieszania się) czystych barw widma w różnych proporcjach*. Niektóre barwy widma przy nakładaniu się tworzą barwę białą. Nazywamy je dodatkowymi (rys. 13.3).

Dla wzroku człowieka istotne znaczenie mają **trzy główne barwy widmowe**: *czerwona, zielona i niebieska*, które nakładając się, powodują widzenie różnorodnych barw i odcieni.

Nakładanie się trzech podstawowych barw w różnych proporcjach jest podstawą otrzymywania kolorowych obrazów na ekranie komputera, telewizora, telefonu (rys. 13.4).



Rys. 13.5. Dzięki temu, że różne ciała na różne sposoby odbijają, załamują i pochłaniają światło słoneczne, widzimy otaczający nas świat w różnych barwach

4 Wyjaśnijmy, dlaczego świat jest różnobarwny

Wiedząc, że białe światło jest złożone, możemy wyjaśnić, dlaczego otaczający nas świat, oświetlony tylko jednym źródłem białego światła – Słońcem – widzimy różnobarwnie (rys. 13.5)

Powierzchnia kartki papieru jednakowo odbija promienie wszystkich barw, dlatego papier, naświetlony białym światłem, wydaje się nam białym. Ciało o barwie niebieskiej, oświetlone białym światłem, odbija przeważnie niebieskie promienie, a resztę pochłania.

? Jaką barwę odbijają płatki słonecznika? liście roślin?

Niebieskie światło, skierowane na czerwone płatki róży jest przez nie pochłaniane, ponieważ czerwone promienie są odbijane przez płatki, a reszta jest przez nie pochłaniana. Dlatego róża naświetlona światłem niebieskim będzie się nam wydawać prawie czarna. Jeżeli niebieskim światłem naświetlimy biały śnieg, będzie on wtedy wydawał się niebieski, przez to, że biały śnieg odbija promienie wszystkich barw (również niebieskie). Natomiast czarna sierść kota dobrze pochłonie wszystkie promienie, dlatego nie zważając na kolor światła, którym naświetlamy, kot pozostanie czarny (rys. 13.6).

Zwróć uwagę! Ponieważ barwa ciała zależy od światła padającego, to pojęcie *barwy w ciemności nie ma żadnego sensu.*



Rys. 13.6. Barwa ciała zależy od optycznych możliwości jego powierzchni i od charakterystyk padającego ciała



Podsumowanie

Wiązka białego światła składa się ze światła o różnych barwach. Rozróżniamy siedem podstawowych barw: czerwona, pomarańczowa, żółta, zielona, błękitna, niebieska, fioletowa. Współczynnik załamania światła, a więc i prędkość rozchodzenia się światła w środowisku, zależą od barwy światła.

Zależność współczynnika załamania od barwy światła nazywamy dyspersją światła. Widzimy otaczający nas świat w różnych barwach dlatego, że różne ciała na różne sposoby odbijają, załamują i pochłaniają światło.



Pytania kontrolne

1. Opisz doświadczenia I. Newtona dotyczące wyznaczania widma światła białego. 2. Wymień siedem barw widmowych. 3. Światło o jakiej barwie najbardziej załamuje się w substancji? najmniej załamuje się? * 4. Podaj definicję dyspersji światła. Jakie zjawisko naturalne jest związane z dyspersją? 5. Jakie barwy nazywamy dodatkowymi? 6. Podaj trzy główne barwy widma. Dlaczego tak je nazywamy? 7. Dlaczego otaczający nas świat nazywamy różnobarwnym?



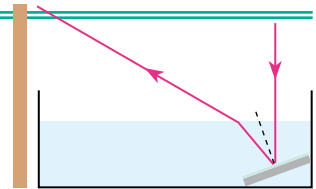
Ćwiczenie nr 13

- Jak będą wyglądały czarne litery na białym papierze, jeżeli będziemy patrzeć na nie przez zielone szkło? Jakiego koloru będzie papier?
- Światło o jakiej barwie przechodzi przez niebieskie szkło? jest pochłaniane przez niebieskie szkło?
- Przez szkło o jakiej barwie nie można zobaczyć tekstu napisanego fioletowym atramentem na białym papierze?
- W wodzie rozchodzi się światło czerwone, pomarańczowe i błękitne. Prędkość rozchodzenia się jakiego światła jest największa?
- Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się, dlaczego niebo jest błękitne; dlaczego słońce na zachodzie często jest czerwone.



Doświadczenie

„*Twórcy tęczy*”. Napełnij płaskie naczynie wodą i postaw obok jasnej ściany. Na dnie naczynia umieść płaskie zwierciadło (patrz rysunek). Skieruj na zwierciadło wiązkę światła – na ścianie pojawi się „słoneczny zajączek”. Wyjaśnij obserwowane zjawisko.



Fizyka i technika na Ukrainie

Państwowy uniwersytet im. T. Szewczenki w Kijowie (KUP) został założony 8 listopada 1833 r. jako Uniwersytet św. Włodzimierza. Pierwszym rektorem uniwersytetu był wybitny uczyony *M. Maksymowycz*.

Z KUPem związane są imiona wybitnych uczonych: matematyków, fizyków, cybernetyków, astronomów: D. Grawe, M. Krawczuka, G. Pfejffera, M. Bogolubowa, W. Głuszkowa, A. Skorochoda, J. Phmana, B. Gniedenka, W. Mychalewycza, M. Awenariusza, M. Szillera, J. Kosonogowa, A. Sytenka, W. Łaszczariowa, R. Fogela, M. Chandrykowa, S. Wszczęświadskiego.

Na całym świecie są znane naukowe szkoły uniwersytetu – algebraiczna, teorii prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej, mechaniki, fizyki półprzewodników, elektroniki fizycznej i fizyki powierzchni, metalogenicznej, optyki nowych materiałów i in. Od 2008 r. rektorem KUP jest akademik, Bohater Ukrainy *Leonid Guberski*.

§ 14. SOCZEWKI. ZDOLNOŚĆ SKUPIAJĄCA SOCZEWKI

Na lekcjach biologii prawdopodobnie pracowałeś z mikroskopem. Widziałeś lornetkę, lunetę, teleskop, umiesz korzystać z aparatu fotograficznego. Niektórzy z was noszą okulary. Wszystkie te urządzenia łączy wspólna część podstawowa – soczewka. O znaczeniu tych urządzeń w życiu człowieka możesz opowiedzieć samodzielnie. O tym, czym jest soczewka, jakie istnieją rodzaje soczewek i jakie są ich właściwości dowiesz się z tego paragrafu.

1 Soczewki

Soczewka jest to bryła przezroczysta ograniczona dwiema powierzchniami sferycznymi*.

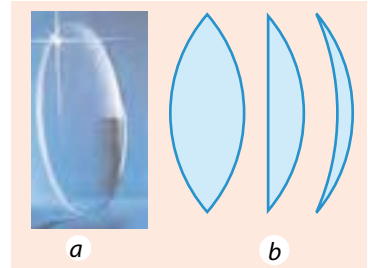
Soczewki dzielimy na *skupiające* (rys. 14.1) i *rozpraszające* (rys. 14.2).

Gdy grubość soczewki d , liczona wzdłuż kierunku głównej osi optycznej, jest znacznie mniejsza od promieni krzywizn sfer ograniczających soczewkę, to taką soczewkę nazywamy soczewką *cienką*. Dalej będziemy mówić wyłącznie o soczewkach cienkich.

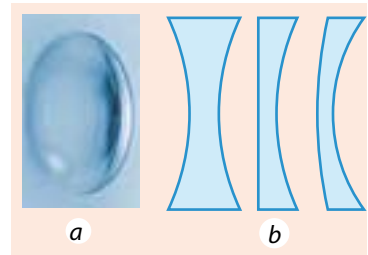
Prostą, łączącą środki powierzchni sferycznych, ograniczających soczewkę, nazywamy **główną osią optyczną soczewki** (rys. 14.3).

Gdy na soczewkę skierujemy wiązkę promieni świetlnych, to będą one w niej załamywać się, czyli zmieniać swój kierunek. Oprócz tego na głównej osi optycznej soczewki jest punkt, przez który promień świetlny przechodzi nie załamując się. Ten punkt nazywamy **środkiem optycznym soczewki** (patrz rys. 14.3).

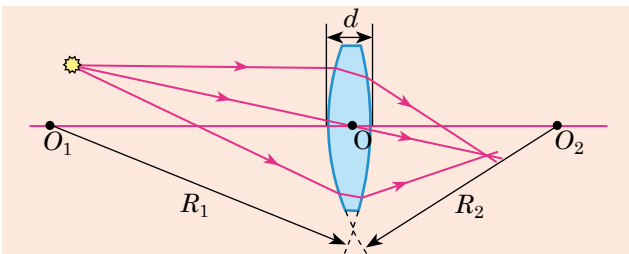
Skierujemy wiązkę promieni *równoległych do jej osi optycznej*. Jeżeli promienie przechodząc przez soczewkę skupiają się, taką soczewkę nazywamy **skupiającą**. Punkt F , w którym przecinają się



Rys. 14.1. Soczewka skupiająca – soczewka, grubość środka której jest większa niżeli brzegów: a – wygląd; b – różne soczewki skupiające w przekroju

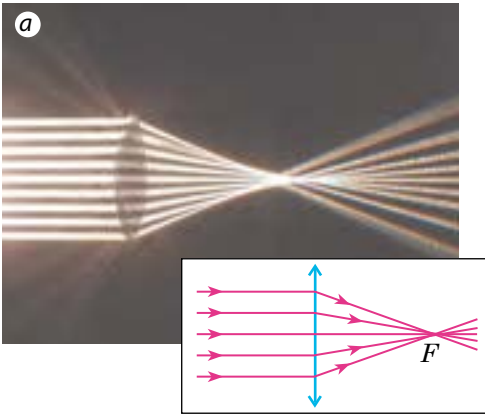


Rys. 14.2. Soczewka rozpraszająca – soczewka, grubość środka której jest mniejsza niżeli brzegów: a – wygląd; b – różne rozpraszające soczewki w przekroju

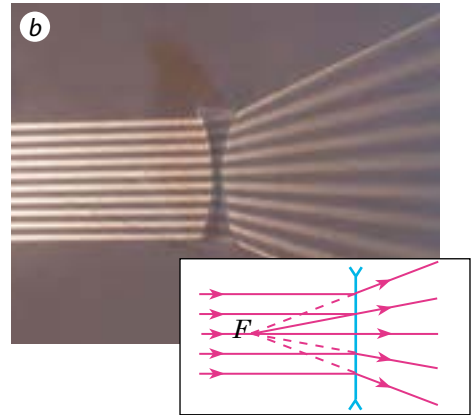


Rys. 14.3. Soczewka cienka: O_1O_2 – główna oś optyczna soczewki; d – grubość soczewki, R_1, R_2 – promień powierzchni sferycznych; O – środek optyczny soczewki

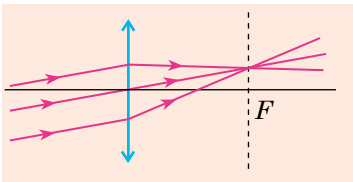
* Jedną z powierzchni soczewki można uważać za płaszczyznę tak jak płaszczyznę może spełniać rolę sfery o nieskończonym promieniu. Bardzo rzadko są spotykane soczewki cylindryczne.



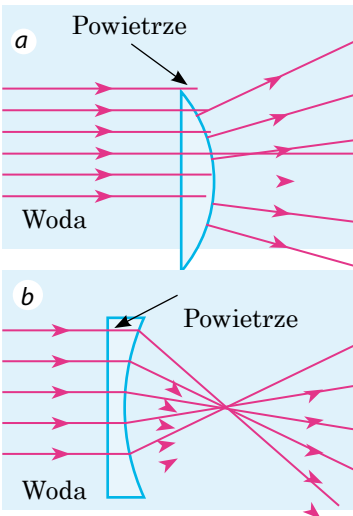
Rys. 14.4. Bieg promieni w soczewce skupiającej. Punkt F – rzeczywiste główne ognisko soczewki



Rys. 14.5. Bieg promieni w soczewce rozpraszającej. Punkt F – ognisko pozorne soczewki



Rys. 14.6. Bieg równoległych promieni w soczewce skupiającej



Rys. 14.7. Soczewka wypukła (a) i wklęsła powietrzna soczewka (b) w wodzie

promienie załamane, nazywamy głównym rzeczywistym ogniskiem soczewki (rys. 14.4).

Soczewka **rozpraszająca** jest to soczewka, w której równoległa do głównej osi optycznej wiązka światła po przejściu przez nią rozchodzi się w ten sposób, że przedłużenia załamanych promieni przecinają się w jednym punkcie. Punkt F przecięcia się przedłużeń promieni nosi nazwę *ogniska pozornego soczewki* (rys. 14.5).

Zwróć uwagę: dowolna wiązka *równoległych promieni*, jeżeli nawet te promienie nie są równoległe do głównej osi optycznej, po przejściu przez soczewkę skupiającą zawsze przecina się w jednym punkcie (rys. 14.6) (jeżeli soczewka rozpraszająca, to w jednym punkcie przecinają się przedłużenia promieni załamanych).

Jeżeli gęstość optyczna materiału, z którego sporządzono soczewkę, jest większa od optycznej gęstości środowiska ($n_s > n_g$), wypukła soczewka będzie zbierała promienie (czyli stanie się skupiającą), natomiast wklęsła soczewka będzie rozpraszająca promienie (czyli będzie rozpraszającą).

Jeżeli gęstość optyczna materiału, z którego sporządzono soczewkę jest mniejsza od optycznej gęstości środowiska ($n_s < n_g$), wypukła soczewka będzie rozpraszającą (rys. 14.7, a), wklęsła soczewka – skupiającą (rys. 14.7, b).

? Jak uważasz, skupiającą czy rozpraszającą będzie wypukła szklana soczewka w powietrzu? wypukła powietrzna soczewka w szkle?

2 Podajemy definicję zdolności skupiającej soczewki

Niezależnie od kształtu każda soczewka posiada dwa główne ogniska*, znajdujące się w jednakowej odległości od środka optycznego soczewki (patrz rys. 14.8).

Odległość od optycznego środka soczewki do ogniska głównego nazywamy **ogniskową soczewki**.

Ogniskową soczewki (podobnie jak ognisko) oznaczamy symbolem F . Jednostką ogniskowej w SI jest metr:

$$[F] = 1 \text{ m}.$$

Ogniskową soczewki skupiającej uważamy za dodatnią, a rozpraszającej – ujemną. Prawdopodobnie, im więcej załamuje soczewka, tym mniejsza jest jej ogniskowa (rys. 14.8).

Zdolnością skupiającą soczewki nazywamy odwrotność ogniskowej soczewki wyrażonej w metrach.

Zdolność skupiającą soczewki oznaczamy D i obliczamy według wzoru:

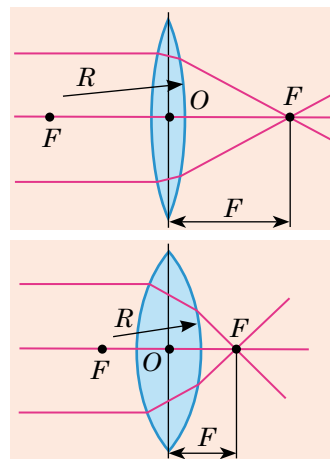
$$D = \frac{1}{F},$$

gdzie F – ogniskowa.

Jednostką zdolności ogniskowej jest **dioptria**: $[D] = 1 \text{ dptr} = \frac{1}{\text{m}} = 1 \text{ m}^{-1}$.

1 dioptria – jest to zdolność skupiająca soczewki o ogniskowej 1 m.

Zdolność skupiająca soczewki skupiającej jest dodatnia, a rozpraszającej – ujemna.



Rys. 14.8. Im mniejsze promienie R powierzchni sferycznych, ograniczających soczewkę, tym bardziej soczewka załamuje światło, więc, tym mniejsza jest jej ogniskowa F



Podsumowanie

Soczewka jest to bryła przezroczysta ograniczona dwiema powierzchniami sferycznymi.

Soczewka skupiająca skupia w jednym punkcie wszystkie promienie biegnące równoległe do głównej osi optycznej. Punkt skupienia promieni nosi nazwę ogniska, a jego odległość do środka soczewki nazywa się ogniskową. Soczewka rozpraszająca rozprasza wszystkie promienie biegnące do głównej osi optycznej, a przedłużenia promieni załamanych przecinają się w pozornym ognisku soczewki.

Zdolnością skupiającą soczewki nazywamy odwrotność ogniskowej soczewki wyrażonej w metrach: $D = \frac{1}{F}$. Zdolność skupiającą soczewki mierzymy w dioptriach: $1 \text{ dptr} = 1 \text{ m}^{-1}$.

* Dalej główne ognisko soczewki będziemy nazywać *ogniskiem soczewki*.

Pytania kontrolne

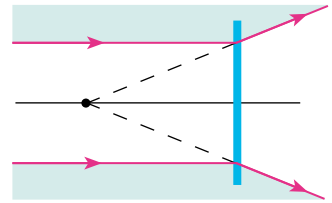


1. Podaj definicję soczewki.
2. Jakie rodzaje soczewek znasz?
3. Czym różni się soczewka rozpraszająca od skupiającej?
4. Co nazywamy rzeczywistym ogniskiem soczewki?
5. Dlaczego ognisko soczewki rozpraszającej nazywamy pozornym?
6. Co nazywamy ogniskową soczewki?
7. Podaj definicję zdolności skupiającej soczewki. W jakich jednostkach ją mierzymy?
8. Zdolność skupiająca jakiej soczewki jest przyjęta za jedność?

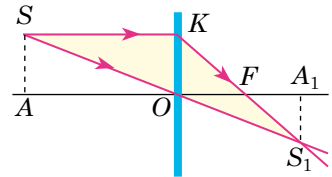
Ćwiczenie nr 14



1. Zdolność skupiająca jednej soczewki wynosi -2 dptr, a drugiej $+2$ dptr. Czym różnią się te soczewki?
2. Ogniskowa jednej soczewki równa się $+0,5$ m, a drugiej $+1$ m. Jaka soczewka ma większą zdolność skupiającą?
3. Zdolność skupiająca soczewki równa się $-1,6$ dptr. Ile wynosi ogniskowa tej soczewki? Jaka to soczewka – skupiająca czy rozpraszająca?
4. Dwie skupiające soczewki sporządzono z jednakowego szkła. Jak przez dotyk można określić, która z soczewek ma większą zdolność skupiającą?
5. Na soczewkę skierowano równoległą wiązkę światła (rys. 1). Określ, rodzaj tej soczewki. Oznacz środek optyczny i ognisko soczewki. Zmierz ogniskową i wyznacz zdolność skupiającą soczewki.
6. Lód ma pustkę w postaci soczewki wklęsłej. Będzie ta soczewka skupiać czy rozpraszać światło? Uzasadnij odpowiedź.
7. Które z przedstawionych na rys. 2 trójkątów są podobne? Oblicz długość odcinków S_1A_1 i OF , jeżeli $AO=10$ cm, $SA=2$ cm, $OA_1=6$ cm.



Rys. 1



Rys. 2



Doświadczenie



Zaproponuj metodę pomiaru ogniskowej i zdolności skupiającej soczewki skupiającej za pomocą linijki. Wykonaj pomiary. *Podpowiedź:* promienie, biegnące od przedmiotu znajdującego się na dużej odległości, są równoległe.

Fizyka i technika na Ukrainie

Instytut fizyki PAN Ukrainy (Kijów) – to czołowa naukowa instytucja rozwiązująca fundamentalne problemy fizyki eksperymentalnej i teoretycznej.

Osiągnięcia uczonych instytutu w dziedzinie fizyki ciała stałego i kryształów ciekłych, optyki, elektroniki fizycznej i kwantowej, energetyki jądrowej, nanofizyki są znane na światową skalę.

W instytucie pracowali tacy wybitni naukowcy: W. Łynnyk, G. Pfejffer, W. Łaszkarjow, S. Pekar, M. Pasicznyk, A. Łejpuński, M. Morgulis, G. Łatyszew, A. Dawydow, A. Prychodko, M. Szpak i in.

Na bazie Instytutu fizyki stworzono Instytut metalofizyki, Instytut półprzewodników, Instytut fizyki teoretycznej, Instytut badań jądrowych, Instytut optyki stosowanej PAN Ukrainy. Obecnie w Instytucie fizyki pracują wybitni uczeni, akademicy PAN Ukrainy: A. Naumowec (elektronika fizyczna) – wiceprezydent PAN Ukrainy, M. Brodyn (nieliniowa optyka) – dyrektor honorowy instytutu, L. Jacenko (optyka koherentna i kwantowa) – dyrektor instytutu od 2008 r.

§ 15. KONSTRUKCJA OBRAZU W SOCZEWKACH. PRYZRĄDY OPTYCZNE. RÓWNANIE CIENKIEJ SOCZEWKI

Główna właściwość soczewek polega na tym, że soczewki dają obraz punktu, a odpowiednio i przedmiotu (rys. 15.1). Dzieje się tak dlatego, że wszystkie promienie, które wychodzą ze źródła światła i padają na soczewkę, po załamaniu przecinają się w jednym punkcie. W zależności od odległości między przedmiotem a soczewką obraz przedmiotu może być powiększony lub pomniejszony, pozorny lub rzeczywisty.

Wyjaśnijmy, w jakich warunkach za pomocą soczewki powstają te czy inne obrazy i rozważmy konstrukcję ich powstawania.

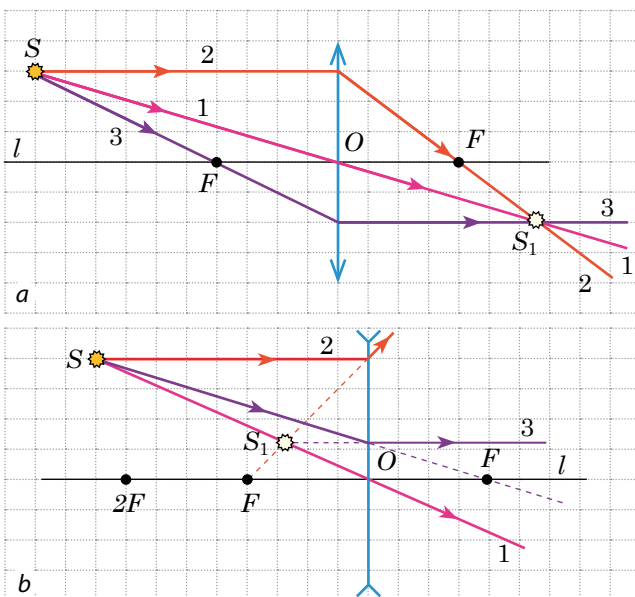


Rys. 15.1. Otrzymywanie obrazu płomienia świecy za pomocą soczewki skupiającej

1 Szukamy „wygodne promienie”

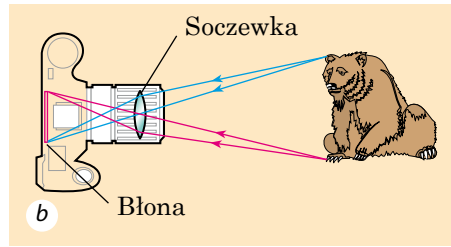
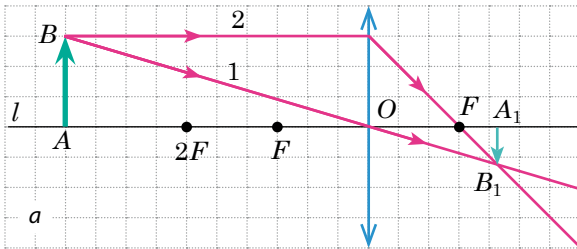
Dowolny przedmiot można przedstawić jako zbiór punktów. Każdy punkt przedmiotu promieniuje (lub odbija) promienie we wszystkich punktach. W konstruowaniu obrazu w soczewce bierze udział dużo promieni, jednak do otrzymania obrazu punktu S wystarczy znaleźć punkt przecięcia dowolnych dwóch promieni, wychodzących z punktu S i przechodzących przez soczewkę. W tym celu wybiera się dwa z trzech „wygodnych promieni” (rys. 15.2).

Punkt S_1 będzie **rzeczywistym obrazem** S , jeżeli w punkcie S_1 przetną się promienie załamane (rys. 15.2, *a*). Punkt S_1 będzie **pozornym obrazem** punktu S , jeżeli w punkcie S_1 przecinają się przedłużenia załamanych promieni (rys. 15.2, *b*).



Rys. 15.2. Konstrukcja obrazu w soczewce za pomocą trzech najprostszych („wygodnych promieni”):

1 – promień, przechodzący przez środek soczewki O nie ulega odchyleniu ani przesunięciu;
2 – promień równoległy do głównej osi optycznej l soczewki, – po załamaniu w soczewce przechodzi przez ognisko F (*a*), lub przez ognisko F przechodzi jego przedłużenie (*b*);
3 – promień, który przechodzi przez ognisko F , po załamaniu w soczewce musi wyjść jako równoległy do głównej osi optycznej l soczewki (*a*, *b*).



Rys. 15.3. *a* – konstrukcja obrazu A_1B_1 przedmiotu AB w soczewce skupiającej; przedmiot AB znajduje się za podwójną ogniskową soczewki; *b* – bieg promieni w aparacie fotograficznym

2 Otrzymywanie obrazu przedmiotu za pomocą soczewki

Rozpatrzmy wszystkie możliwe przypadki dla różnych odległości przedmiotu AB od soczewki skupiającej i udowodnijmy, że rozmiary i typ obrazu zależą od odległości między przedmiotem a soczewką.

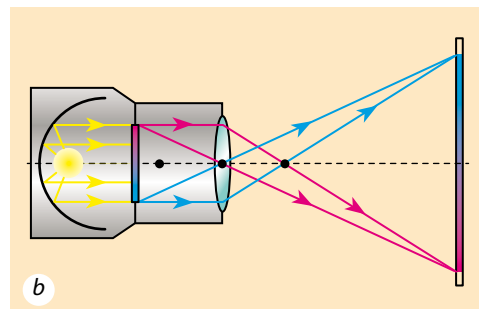
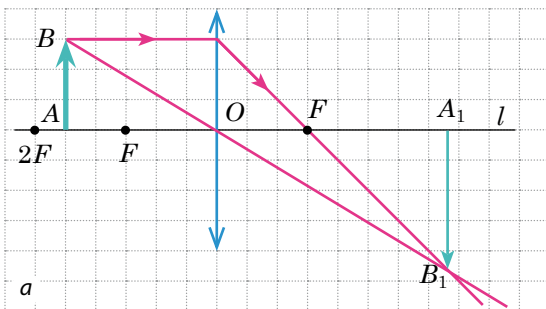
1. Przedmiot znajduje się za podwójną ogniskową soczewki skupiającej (rys. 15.3, a). Najpierw otrzymamy obraz punktu B . W tym celu wykorzystamy dwa promienie – 1 i 2. Po załamaniu w soczewce przetną się one w punkcie B_1 . Więc punkt B_1 jest rzeczywistym obrazem punktu B . Do otrzymania obrazu punktu A opuszczamy z punktu B_1 prostą na główną oś optyczną l . Punkt A_1 prostopadłej i osi l będzie obrazem punktu A .

Więc A_1B_1 to obraz przedmiotu AB . Ten obraz jest *rzeczywisty, pomniejszony, odwrócony*. Taki obraz otrzymujemy, na przykład na siatkówce oka lub na błonie aparatu fotograficznego (rys. 15.3, b).

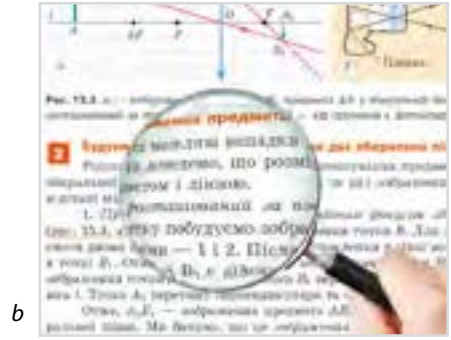
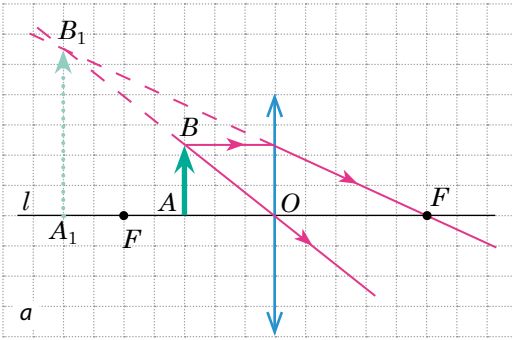
2. Przedmiot znajduje się pomiędzy ogniskiem i podwójnym ogniskiem soczewki skupiającej (rys. 15.4, a). Otrzymany obraz jest *rzeczywisty, powiększony, odwrócony*. Taki obraz otrzymujemy za pomocą projektora (rys. 15.4, b).

3. Przedmiot znajduje się między ogniskiem a soczewką skupiającą (rys. 15.5, a). Po załamaniu w soczewce promienie, wychodzące z punktu B , biegają wiązką rozbieżną, jednak ich przedłużenia przecinają się w punkcie B .

W danym przypadku *obraz przedmiotu jest pozorny, powiększony, prosty*. Obraz znajduje się po tej samej stronie soczewki, co i przedmiot, dlatego nie



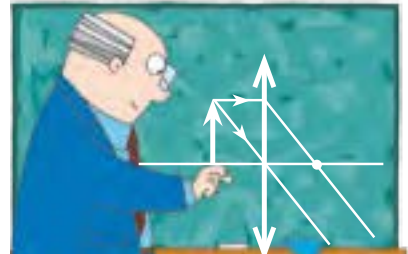
Rys. 15.4. *a* – konstrukcja obrazu A_1B_1 przedmiotu AB w soczewce skupiającej; przedmiot AB znajduje się między ogniskiem i podwójnym ogniskiem soczewki; *b* – bieg promieni w aparacie projekcyjnym



Rys. 15.5. *a* – konstrukcja obrazu A_1B_1 przedmiotu w soczewce skupiającej; przedmiot AB znajduje się pomiędzy soczewką a jej ogniskiem; *b* – za pomocą lupy można otrzymać powiększony obraz przedmiotu

możemy go zobaczyć na ekranie, lecz widzimy, patrząc się na przedmiot przez soczewkę. Taki obraz daje soczewka skupiająca – lupa (rys. 15.5, *b*).

4. Przedmiot znajduje się na ogniskowej od soczewki skupiającej. Po załamaniu wszystkie promienie biegną wiązką równoległą (rys. 15.6), więc w tym przypadku obraz nie powstaje.

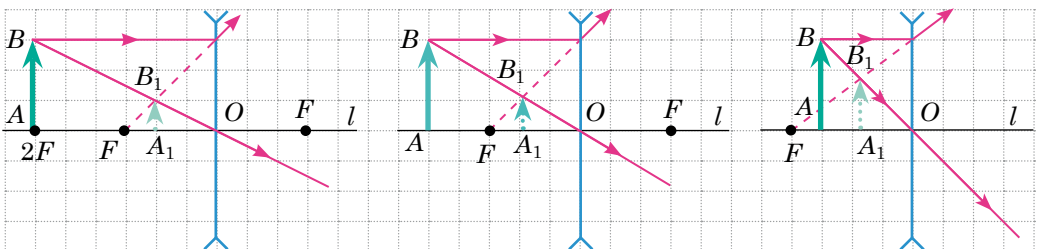


Rys. 15.6. Gdy przedmiot jest umieszczony w ognisku soczewki skupiającej, obraz nie powstaje

? Jaki będzie obraz, jeżeli przedmiot umieścimy w podwójnym ognisku soczewki. Narysuj ten obraz. Potwierdź lub zaprzecz swoje przypuszczenie.

Uważnie przyjrzyj się rys. 15.7, na którym jest pokazana konstrukcja obrazu przedmiotu, otrzymana za pomocą soczewki rozpraszającej. Jak widać, soczewka rozpraszająca zawsze daje obraz pozorny, pomniejszony, prosty, znajdujący się po tej samej stronie soczewki, co i przedmiot.

? Wyjaśnij, czy otrzymamy obraz, gdy розміścimy przedmiot w ognisku soczewki rozpraszającej.



Rys. 15.7. Soczewka rozpraszająca zawsze daje obraz pozorny, pomniejszony, prosty

Najczęściej bywa tak, że przedmiot jest większy od soczewki lub część soczewki jest przykryta nieprzezroczystym ekranem (na przykład soczewka obiektywu aparatu fotograficznego). Czy zmieni się przy tym wygląd obrazu? Oczywiście, że nie. Przecież od każdego punktu przedmiotu na soczewkę pada dużo promieni i wszystkie one skupiają się w odpowiednim punkcie obrazu. Zasłonięcie części soczewki spowoduje tylko to, że energia, która trafia do każdego punktu obrazu, zmniejsza się. Obraz będzie mniej ostry, jednak ani jego wygląd, ani miejsce znajdowania się nie zmieniają się. Właśnie dlatego, konstruując obraz, możemy wykorzystywać wszystkie wygodne promienie, nawet te, które nie przechodzą przez soczewkę (rys. 15.8).

3 Otrzymujemy równanie soczewki cienkiej

Konstruujemy obraz przedmiotu w soczewce skupiającej (rys. 15.9).

Rozpatrzmy trójkąty prostokątne FOC i FA_1B_1 . Są to trójkąty podobne, dlatego

$$\frac{OC}{A_1B_1} = \frac{FO}{FA_1}, \text{ lub } \frac{h}{H} = \frac{F}{f-F} \quad (1).$$

Trójkąty BAO i B_1A_1O też są podobne, dlatego, $\frac{AB}{A_1B_1} = \frac{AO}{A_1O}$, lub $\frac{h}{H} = \frac{d}{f}$ (2).

Porównując prawe części równości (1) i (2) otrzymamy $\frac{F}{f-F} = \frac{d}{f}$, czyli

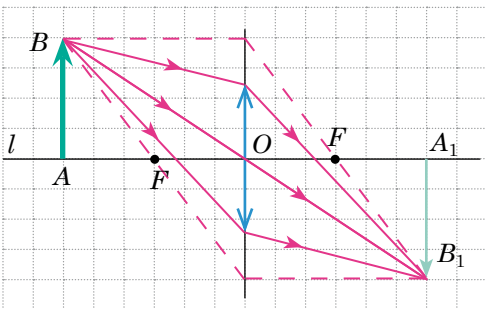
$Ff = df - dF$, lub $df = Ff + dF$. Dzieliąc obie części ostatniej równości przez fdF , otrzymujemy **równanie soczewki cienkiej**:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \text{ lub } D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

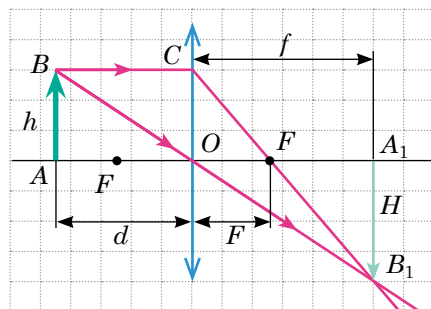
gdzie $D = \frac{1}{F}$ – zdolność skupiająca soczewki.

Rozwiązując zadanie, należy uwzględnić:

- odległość f (od soczewki do obrazu) bierzemy ze znakiem „-”, jeżeli obraz jest pozorny, i ze znakiem „+”, jeżeli obraz jest rzeczywisty;
- ogniskowa F soczewki skupiającej jest dodatnia, a rozpraszającej – ujemna;
- powiększenie p soczewki obliczamy według wzoru: $p = \frac{H}{h} = \frac{|f|}{|d|}$.



Rys. 15.8. Konstrukcja obrazu przedmiotu w przypadku, gdy przedmiot jest o wiele większy od soczewki



Rys. 15.9. Do otrzymania cienkiej soczewki: h – wysokość przedmiotu; H – wysokość obrazu; d – odległość od przedmiotu do soczewki; f – odległość od soczewki do obrazu; F – ogniskowa

4 Uczymy się rozwiązywać zadania

Zadanie 1. Patrząc na monetę przez lupę, o zdolności skupiającej +10 dptr, chłopczyk rozmiścił monetę na odległości 6 cm od lupy. Wyznacz: 1) ogniskową soczewki; 2) na jakiej odległości od lupy chłopczyk obserwował obraz monety; 3) jaki jest ten obraz – rzeczywisty czy pozorny; 4) powiększenie, które daje lupa.

Analiza problemu fizycznego. Lupę możemy uważać za cienką soczewkę, dlatego wykorzystujemy równanie cienkiej soczewki. Ogniskową obliczymy, wykorzystując definicję zdolności skupiającej soczewki.

Dane:

$$d = 6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m}$$

$$D = +10 \text{ dptr}$$

Poszukiwanie modelu matematycznego, rozwiązanie

Według definicji $D = \frac{1}{F} \Rightarrow F = \frac{1}{D}$.

Znaleźć:

$$F - ?$$

$$f - ?$$

$$p - ?$$

Zgodnie z równaniem cienkiej soczewki:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d} \quad \text{lub} \quad \frac{1}{f} = \frac{d-F}{Fd}. \quad \text{Więc, } f = \frac{Fd}{d-F}.$$

Wiedząc odległość f , obliczymy powiększenie: $p = \frac{H}{h} = \left| \frac{f}{d} \right|$.

Sprawdzamy jednostki, obliczamy wartość szukanych wielkości:

$$[F] = \frac{1}{\text{dptr}} = \frac{1}{\text{m}^{-1}} = \text{m}, \quad F = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ (m)};$$

$$[f] = \frac{\text{m} \cdot \text{m}}{\text{m} - \text{m}} = \frac{\text{m}^2}{\text{m}} = \text{m}, \quad f = \frac{0,1 \cdot 0,06}{0,06 - 0,1} = -0,15 \text{ (m)}; \quad p = \frac{0,15}{0,06} = \frac{15}{6} = \frac{5}{2} = 2,5.$$

Znak „-” przed wartością f mówi o tym, że obraz jest pozorny.

Odpowiedź: $F = 10 \text{ cm}$; $f = -15 \text{ cm}$; obraz pozorny; $p = 2,5$.



Podsumowanie

W zależności od rodzaju soczewki (skupiająca lub rozpraszająca) i miejsca przedmiotu względem soczewki, otrzymujemy różne obrazy przedmiotu:

Miejsce, w którym umieszczamy przedmiot	Charakterystyka obrazów w soczewce	
	skupiającej	rozpraszającej
Za podwójnym ogniskiem soczewki ($d > 2F$)	rzeczywisty, pomniejszony, odwrócony	pozorny, pomniejszony, prosty
W podwójnym ognisku ($d = 2F$)	rzeczywisty, odwrócony, tej samej wielkości, co przedmiot	
Pomiędzy ogniskiem a podwójnym ogniskiem soczewki ($F < d < 2F$)	rzeczywisty, powiększony, odwrócony	
W ognisku soczewki ($d = F$)	obraz nie powstaje	
Pomiędzy soczewką i ogniskiem ($d < F$)	pozorny, powiększony, prosty	

Odległość d od przedmiotu do soczewki, odległość f od soczewki do obrazu i ogniskowa F są powiązane ze sobą równaniem cienkiej soczewki: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$.

Pytania kontrolne

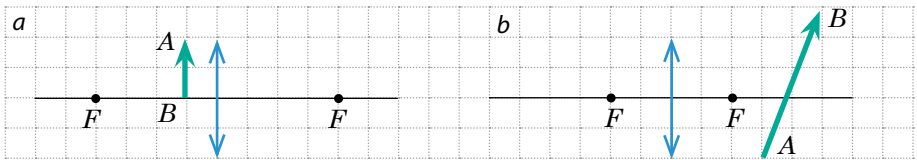


1. Jakie promienie dogodnie jest stosować do konstrukcji obrazu za pomocą soczewki? 2. Czy można otrzymać rzeczywisty obraz za pomocą soczewki rozpraszającej? pozorny obraz – za pomocą soczewki skupiającej? 3. W jakim przypadku można zobaczyć na ekranie obraz przedmiotu – gdy ten obraz jest rzeczywisty czy gdy jest pozorny? 4. Jak według obrazu wyznacza się rodzaj soczewki? 5. Podaj przyrządy optyczne, które posiadają soczewki. 6. Jakie wielkości fizyczne łączy równanie cienkiej soczewki? Jakich reguł należy dotrzymywać się, wykorzystując ten wzór?

Ćwiczenie nr 15

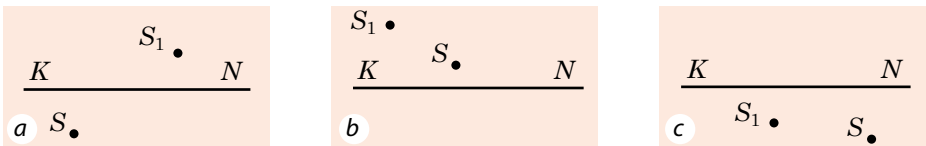


1. Przerysuj do zeszytu rys. 1, *a*, *b* i dla każdego przypadku narysuj obraz przedmiotu *AB* w soczewce skupiającej. Jaki jest ten obraz?



Rys. 1

2. Zdolność skupiająca soczewki wynosi +5 dptr. Na jakiej odległości od soczewki należy umieścić zapaloną świecę, aby otrzymać obraz płomienia świecy tej samej wielkości?
3. Przedmiot znajduje się na odległości 1 m od soczewki. Pozorny obraz przedmiotu znajduje się na odległości 24 cm od soczewki. Oblicz zdolność skupiającą soczewki. Jaka to soczewka – skupiająca czy rozpraszająca?
4. Na papier z nadrukowanym tekstem trafiła kropla przezroczystego kleju. Dlaczego litery, które znalazły się pod kroplą wydają się większe, niż sąsiednie?
5. Za pomocą soczewki otrzymano ostry obraz przedmiotu na ekranie. Oblicz: 1) zdolność skupiającą soczewki, jeżeli przedmiot jest umieszczony na odległości 60 cm od soczewki, a odległość między przedmiotem i ekranem równa się 90 cm; 2) wysokość przedmiotu, jeżeli wysokość jego obrazu wynosi 5 cm.
6. Przerysuj do zeszytu rys. 2, *a-c* i dla każdego przypadku określ miejsce optycznego środka i ognisk soczewki, rodzaj soczewki, typ obrazu. (*KN* – oś optyczna soczewki; *S* – punkt świetlny; *S*₁ – obraz punktu *S*).



Rys. 2

7. Oblicz zdolność skupiającą lupy, która daje sześciokrotne powiększenie obrazu, umieszczonego na odległości 20 cm od lupy.
8. Jak zmienia się i w jakim kierunku porusza się obraz przedmiotu, jeżeli przedmiot porusza się od nieskończoności do soczewki?
9. Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się o historii aparatu fotograficznego. Zrób prezentację komputerową.

PRACA LABORATORYJNA NR 5



Temat. Wyznaczenie ogniskowej i zdolności ciennej skupiającej soczewki.

Cel: oblicz ogniskową i zdolność skupiającą ciennej skupiającej soczewki.

Przyrządy: skupiająca soczewka na podstawce, ekran, źródło światła (świeca lub żarówka), metr krawiecki.

WYKONANIE PRACY

II Przygotowanie się do doświadczenia

1. Przed wykonaniem pracy przypomnij sobie: 1) zasady bezpieczeństwa podczas pracy ze szklanymi i łatwopalnymi przedmiotami; 2) równanie ciennej soczewki; 3) definicję zdolności skupiającej soczewki.
2. Przeanalizuj równanie ciennej soczewki, pomyśl, jakie pomiary należy zrobić, aby wyznaczyć ogniskową soczewki.

Doświadczenie

Przestrzegaj zasad bezpieczeństwa.

Wyniki pomiaru wpisuj do tabeli.

1. Umieszczając soczewkę pomiędzy źródłem światła a ekranem, otrzymaj na ekranie ostry pomniejszony obraz źródła światła.
2. Zmierz odległość d od źródła światła do soczewki i odległość f od soczewki do ekranu.
3. Przesuwając soczewkę, otrzymaj na ekranie ostry powiększony obraz źródła światła.
4. Ponownie zmierz odległość d od źródła światła do soczewki i odległość f od soczewki do ekranu.

Opracowanie wyników doświadczenia

1. Dla każdego doświadczenia wyznacz: 1) ogniskową soczewki (za pomocą równania soczewki ciennej); 2) zdolność skupiającą soczewki (za pomocą definicji zdolności skupiającej).
2. Wypełnij tabelę.

Numer doświadczenia	Odległość od przedmiotu do soczewki d , m	Odległość od soczewki do ekranu f , m	Ogniskowa soczewki F , m	Zdolność skupiająca soczewki D , dptr
1				
2				

Analiza doświadczenia i jego wyników

Analizując doświadczenie i jego wyniki, wyciągnij wnioski, w którym: 1) porównaj wartości ogniskowej, otrzymane w różnych doświadczeniach; 2) dowiedz się od nauczyciela wartość zdolności skupiającej soczewki, zaznaczoną w paszporcie przyrządu i porównaj ją z otrzymaną doświadczalnie wartością; 3) zaznacz przyczyny możliwej rozbieżności wyniku.

+ Zadanie twórcze

Oblicz ogniskową soczewki dwoma sposobami: 1) dla otrzymanego na ekranie obrazu oddalonego przedmiotu (na przykład drzewa za oknem); 2) dla otrzymanego na ekranie obrazu źródła światła, które według rozmiaru dorównuje rozmiarowi samego źródła. Jakie pomiary i obliczenia wykonywałaś w każdym przypadku?

* Zadanie z gwiazdką

Oblicz względny błąd pomiaru jednego z doświadczeń za pomocą wzoru: $\varepsilon = \left| 1 - \frac{D_{\text{pom}}}{D_{\text{paszp}}} \right| \cdot 100\%$, gdzie D_{pom} – wartość zdolności skupiającej soczewki, otrzymanej podczas doświadczenia; D_{paszp} – wartość zdolności skupiającej soczewki zgodnie z paszportem.

i § 16. OKO JAKO UKŁAD OPTYCZNY. WZROK I WIDZENIE. OKULARY. WADY WZROKU I ICH KOREKCJA

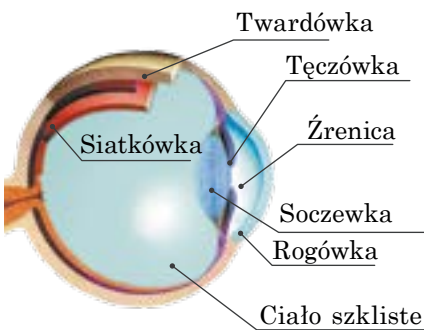
Narzędziem wzroku człowieka jest oko – jedno z najdoskonalszych i jednocześnie najprostszych przyrządów optycznych. Jaka jest budowa oka? Dlaczego niektórzy ludzie widzą źle i jak skorygować ich wzrok? W jaki sposób animacja jest powiązana z osobliwościami wzroku człowieka? O tym dowiesz się w tym paragrafie.

1 Budowa oka

Oko człowieka jest to naturalny układ optyczny. Składa się ono z kilku elementów optycznych, przeznaczonych do odtwarzania obrazu.

Oko (patrz [rys. 16.1](#)) ma kształt zbliżony do kuli o średnicy ok. 2,5 cm i na zewnątrz jest pokryte nieprzezroczystą błoną – **twardówką**. Przednia część twardówki przechodzi w **przezroczystą błonę rogówką**, która działa jako soczewka skupiająca i zabezpiecza 75 % zdolności oka do załamывania światła.

Od środka twardówka jest pokryta **naczyniówką**, która w przedniej części oka przechodzi w **tęczówkę**. W środku tęczówki znajduje się **źrenica**, która w przypadku zwiększenia oświetlenia zwęża się i rozszerza się ze zmniejszeniem oświetlenia.



Zdolność oka do przystosowywania się do różnego oświetlenia nazywamy **adaptacją**.

Za źrenicą znajduje się **soczewka skupiająca**, która dzięki połączonym z nią mięśniom, może zmieniać swoją krzywiznę, a więc zdolność skupiającą.

W tworzeniu obrazu również bierze udział **ciało szkliste** – przezroczysta galaretowata masa, wypełniająca przestrzeń pomiędzy soczewką i siatkówką.

Rys. 16.1. Budowa oka

Załamaniem światła następuje już na rogówce, w soczewce i ciele szklistym. W wyniku czego na siatkówce – światłoczułej powierzchni oka – powstaje *rzeczywisty pomniejszony odwrócony obraz przedmiotu* (rys. 16.2).

2 Wyjaśniamy, dlaczego człowiek widzi przedmioty

Człowiek o dobrym wzroku jednakowo dobrze widzi zarówno z bliska jak i z daleka. Jest tak dlatego, że w przypadku zmiany odległości do przedmiotu soczewka oka zmienia krzywiznę, czyli zmienia swoją zdolność skupiającą.

Akomodacja – jest to zdolność soczewki oka do zmiany swojego kształtu w przypadku zmiany odległości do obserwowanego przedmiotu.

Gdy człowiek patrzy na przedmioty oddalone, do jego oka trafiają prawie równoległe promienie. W tym wypadku oko jest najbardziej osłabione. (Przypomnij sobie, zamyśliwszy się człowiek jakby patrzy w dal!) Im bliżej znajduje się przedmiot, tym bardziej wysila się oko (mięśnie oka zwiększają krzywiznę ciała szklistego).

Odległość dobrego widzenia – minimalna odległość między przedmiotem a okiem, przy której przedmiot jest ostro widziany bez wysiłku.

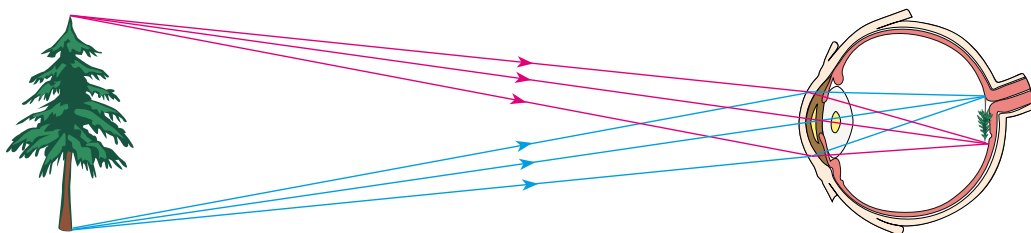
25 cm – to odległość dobrego widzenia dla człowieka o zdrowym wzroku. Właśnie na tej odległości taki człowiek trzyma książkę.

3 Zapoznamy się bezwładnością wzroku

Szybko przemieszczając w ciemności zimne ognie, obserwujemy figury świetlne. Podczas szybkiego obracania się karuzeli jej różnobarwne lampy wyglądają dla obserwatora jako jednolity pierścień. Oczy człowieka ciągle mrugają, przy tym nie zauważamy, że w pewnym momencie przedmiot, na który się patrzymy, staje się niewidoczny.

Wszystkie opisane zjawiska tłumaczymy **bezwładnością wzroku**. Dzieje się to dlatego, że gdy obraz przedmiotu znika z siatkówki oka (przedmiot jest zabierany, nieoświetlany, zakrywany nieprzezroczystym ekranem), obraz wzrokowy, spowodowany tym przedmiotem, zachowuje się w ciągu 0,1 s.

Bezwładność wzroku jest wykorzystywana w kinie czy w telewizji. Obraz na ekranie bardzo szybko (24 razy na sekundę) zmienia się; podczas takiej zmiany ekran



Rys. 16.2. Obraz powstający na siatkówce oka, – rzeczywisty, pomniejszony, odwrócony



Rys. 16.3. Stroboskopowe zdjęcie gimnasty

nie naświetla się, jednak widz tego nie zauważa, a po prostu widzi szereg kolejnie zmieniających się obrazów. Tak na ekranie powstaje wrażenie ruchu.

? Ile obrazków należy narysować, aby powstał film animacyjny o trwałości tylko 10 min?

Wrażenie ruchu jest podstawą zastosowania stroboskopu. (Stroboskop – jest to źródło światła, które promieniuje błyski światła przez małe równe odcinki czasu). Podczas fotografowania obiektów naświetlanych stroboskopem, otrzymujemy zdjęcia stroboskopowe (rys. 16.3).

4 Dowiadujemy się o wadach wzroku i ich korekcji

Dobry wzrok	Wady wzroku	
	krótkowzroczność	dalekowzroczność
<p>Ognisko F optycznego układu oka w stanie spokoju znajduje się na siatkówce.</p> <p>Na siatkówce powstaje ostry obraz oddalonych przedmiotów.</p>	<p>Ognisko F optycznego układu oka w stanie spoczynku znajduje się przed siatkówką.</p> <p>Na siatkówce powstaje nieostry obraz oddalonych przedmiotów.</p>	<p>Ognisko F optycznego układu oka w zwykłym stanie znajduje się za siatkówką.</p> <p>Na siatkówce powstaje nieostry obraz przedmiotów oddalonych.</p>
<p>Odległość dobrego widzenia – ok. 25 cm. Na tej odległości człowiek o dobrym wzroku trzyma książkę.</p>	<p>Odległość dobrego widzenia jest mniejsza niż 25 cm. Krótkowidz czyta książkę zbliżając ją do oczu.</p>	<p>Odległość dobrego widzenia jest większa niż 25 cm. Dalekowidz czyta książkę oddalając ją od oczu.</p>
<p>Ogniskowa zdrowego oka wynosi ok. 1,71 cm.</p> <p>? Wyznacz zdolność skupiającą optycznego układu „zdrowe oko”.</p>	<p>Krótkowzroczność jest korygowana za pomocą okularów z soczewkami rozpraszającymi.</p>	<p>Dalekowzroczność jest korygowana za pomocą okularów z soczewkami rozpraszającymi.</p>



Podsumowanie

Z punktu widzenia fizyki oko jest układem optycznym, głównymi elementami którego jest rogówka, soczewka oka i ciało szkliste. W tym układzie optycznym załamuje się światło, w wyniku czego na siatkówce – światłoczułej powierzchni dna gałki ocznej – powstaje pomniejszony, rzeczywisty, odwrócony obraz przedmiotu.

Po zniknięciu obrazu przedmiotu z siatkówki oka, obraz wzrokowy spowodowany tym przedmiotem zachowuje się w świadomości człowieka w ciągu 0,1 s. Nazywamy to bezwładnością wzroku.



Pytania kontrolne

1. Opisz budowę oka człowieka i wymień do czego służą jego poszczególne elementy optyczne. **2.** Jak zmienia się średnica źrenicy w przypadku zmniejszenia oświetlenia? **3.** Dlaczego człowiek o dobrym wzroku może jednakowo ostro widzieć wszystkie przedmioty? **4.** Jaka wadę wzroku nazywamy krótkowzrocznością? Jak ją korygujemy? **5.** Jaka wadę wzroku nazywamy dalekowzrocznością? Jak ją korygujemy? **6.** Co nazywamy bezwładnością wzroku? Podaj przykłady jej zastosowania.



Ćwiczenie nr 16

1. Zdolność skupiająca soczewek okularów babci wynosi 2,5 dptr. Wyznacz ogniskową tych soczewek. Jaka wadę wzroku ma babcia?
2. Na jakiej minimalnej odległości od oka człowieka o dobrym wzroku należy umieścić zwierciadło, aby zobaczyć ostry obraz oka?
3. Dlaczego aby lepiej widzieć krótkowidz mruży oczy?
4. Dlaczego nawet w czystej wodzie człowiek bez maski źle widzi?
5. Chłopczyk czyta książkę, trzymając ją na odległości 20 cm od oczu. Oblicz zdolność skupiającą soczewek niezbędnych chłopczykowi, aby czytał książkę na odległości dobrego widzenia dla zdrowego oka.
6. Przeprowadź analogię między aparatem fotograficznym i okiem człowieka. Jaka czynność oka wykonuje ta czy inna część aparatu fotograficznego. W razie potrzeby zwróć się do dodatkowych źródeł informacji.
7. Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się o metodach profilaktyki chorób oczu. Jak można skorygować wzrok?



Doświadczenie

Zaproponuj kilka sposobów, za pomocą których można wyznaczyć jaką wadę wzroku (krótkowzroczność czy dalekowzroczność) korygują te lub inne okulary. Poszukaj kilka różnych okularów (u krewnych, sąsiadów, przyjaciół) i sprawdź czy „działają” zaproponowane przez ciebie sposoby.

Fizyka i technika na Ukrainie



Aleksander Smakuła (1900–1983) – wybitny ukraiński fizyk i wynalazca. Wykorzystując pojęcie oscylatorów kwantowych, A. Smakuła wyjaśnił radiacyjne zabarwienie kryształów i wyprowadził ilościowy matematyczny wzór, znany w nauce jak „wzór Smakuły”. Prace uczonego były podstawą syntezy witamin A, B2 i in., a proces transformacji węgla krystalicznego jest nazywany obecnie „inwersją Smakuły”.

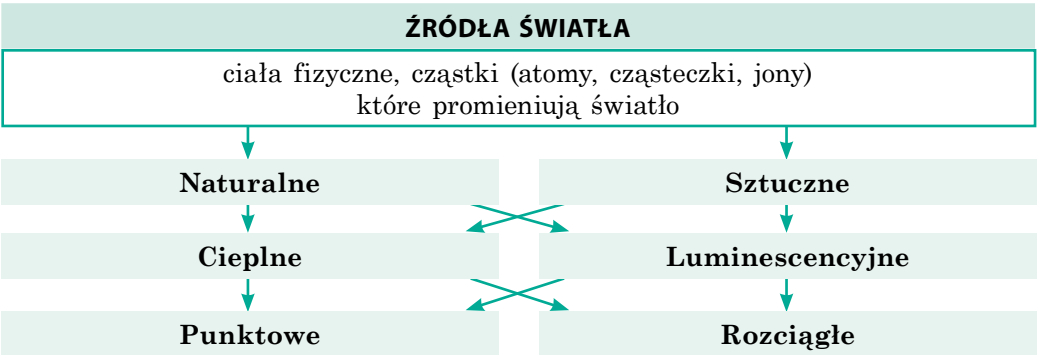
W 1935 r. A. Smakuła wykonał i opatentował odkrycie, dzięki któremu jego imię na zawsze pozostanie w historii nauki, – sposób polepszenia przyrządów optycznych („prześwietlenie optyki”). Sens odkrycia tkwi w tym, że powierzchnię szklanej soczewki pokrywa się specjalną warstwą błony z pewnego materiału o grubości $\frac{1}{4}$ długości padającej fali, co o wiele zmniejsza odbicie światła od powierzchni soczewki i jednocześnie zwiększa ostrość obrazu.

Odkrycie to było wielkim osiągnięciem, ponieważ soczewki optyczne są podstawowym elementem różnych przyrządów (aparatów fotograficznych, lornetek, optycznych przyrządów dla uzbrojenia).

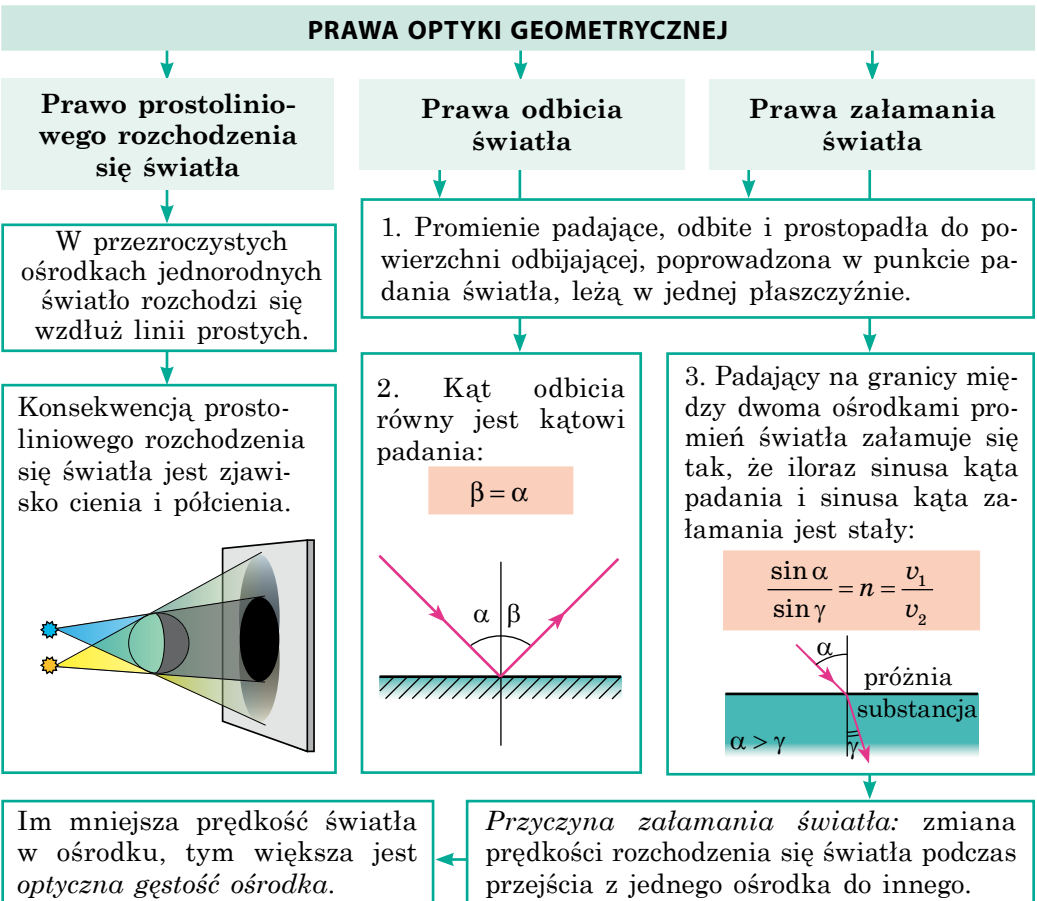
UNESCO nazwało rok 2000 rokiem A. Smakuły.

PODSUMOWANIE ROZDZIAŁU II „Zjawiska świetlne”

1. Badając rozdział II dowiedziałeś się, że widzimy otaczający nas świat dzięki temu, że *ciała otaczające nas odbijają światło lub same są źródłami światła.*



2. Dowiedziałeś się o *prawach rozchodzenia się światła – prawach optyki geometrycznej.*

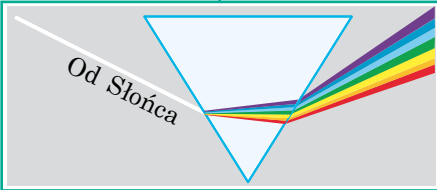


3. Zapoznałeś się z doświadczeniami I. Newtona i zobaczyłeś, że białe światło składa się ze światła o różnych barwach. Światło o różnych barwach w próżni rozchodzi się z jednakową prędkością ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s), a w ośrodku – z różną.

DYSPERSJA ŚWIATŁA

zależność współczynnika załamania ośrodka od barwy światła

Doświadczenia I. Newtona



Barwy widmowe

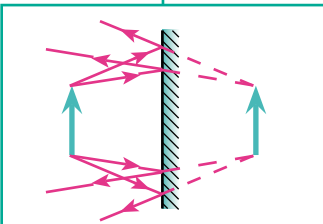
Czerwona Pomarańczowa Żółta
Zielona Błękitna Niebieska Fioletowa

Największy współczynnik załamania ma światło fioletowe, najmniejszy – czerwone

4. Nauczyłeś się *otrzymywać konstrukcje obrazu* w zwierciadle płaskim i soczewkach.

KONSTRUKCJA OBRAZU

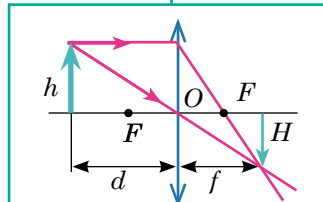
Zwierciadło płaskie



Obraz pozorny; symetryczny do przedmiotu względem powierzchni zwierciadła

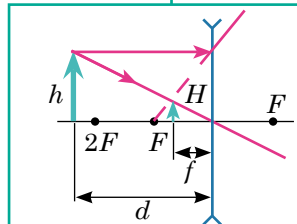
Soczewka

Skupiająca



Obraz zależy od miejsca umieszczania przedmiotu

Rozpraszająca



Obraz zawsze jest pozorny, pomniejszony, prosty

Zdolność skupiająca soczewki: $D = \frac{1}{f}$. Równanie cienkiej soczewki:

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \quad \text{Powiększenie przedmiotu w soczewce: } p = \frac{H}{h} = \frac{|f|}{|d|}$$

5. Zapoznałeś się z urządzeniami optycznymi, podstawowym elementem których jest soczewka.

URZĄDZENIA OPTYCZNE

Urządzenia, które uzbrajają oko

Lupa

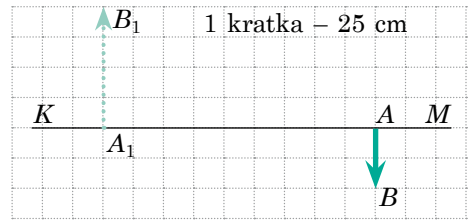
Okulary

Urządzenia, które dają obraz na ekranie

Aparat fotograficzny

Projektor

8. (2 punkty) W czasie robienia zdjęć na obiektywie aparatu fotograficznego siadła mucha. Czy wpłynie to na zdjęcie, jeżeli tak, to jak?
- w żaden sposób nie wpłynie;
 - na zdjęciu pojawi się obraz muchy;
 - zdjęcie będzie mniej ostre;
 - zdjęcie będzie bardziej ostre.
9. (3 punkty) Człowiek zbliża się do zwierciadła z prędkością 2 m/s. Z jaką prędkością zbliża się do człowieka jego obraz w zwierciadle?
10. (3 punkty) Kąt padania promienia na powierzchnię lustrzaną równa się 70° . Ile wynosi kąt pomiędzy promieniem odbitym i powierzchnią lustrzaną?
11. (3 punkty) Światło pada z powietrza na powierzchnię przezroczystej substancji pod kątem 45° . Oblicz bezwzględny współczynnik załamania substancji, jeżeli światło załamane rozchodzi się pod kątem 60° do granicy podziału ośrodków.
12. (3 punkty) Przedmiot umieszczono na odległości 1 m od soczewki skupiającej o ogniskowej 0,5 m, na jakiej odległości od soczewki będzie obraz przedmiotu?
13. (3 punkty) Ustal zależność pomiędzy ośrodkiem i prędkością rozchodzenia się światła w tym ośrodku.
- | | |
|-----------|-------------------------|
| 1 Diament | A $1,24 \cdot 10^8$ m/s |
| 2 Benzyna | B $1,76 \cdot 10^8$ m/s |
| 3 Lód | C $2,00 \cdot 10^8$ m/s |
| | D $2,29 \cdot 10^8$ m/s |



Rys. 5

14. (4 punkty) Na rys. 5 przedstawiono główną oś optyczną KM soczewki, przedmiot AB i jego obraz A_1B_1 . Wyznacz rodzaj soczewki, jej ogniskową i zdolność skupiającą.
15. (4 punkty) Dlaczego krzywizna soczewki oka ryby (rys. 6) jest większa, niżeli u człowieka?
16. (4 punkty) Rozglądając znaczek za pomocą lupy, chłopczyk widzi go na odległości dobrego widzenia czterokrotnie powiększonego. Na jakiej odległości od oka trzyma chłopczyk lupę, jeżeli ma dobry wzrok, a zdolność skupiająca lupy wynosi $+15$ dptr?



Rys. 6

Porównaj swoje odpowiedzi z odpowiedziami na końcu podręcznika. Oznacz zadania zrobione prawidłowo, oblicz sumę punktów. Następnie podziel otrzymaną sumę przez trzy. Otrzymana liczba będzie odpowiadać poziomowi twojej wiedzy.



Zadania testowe ze sprawdzeniem komputerowym znajdziesz na stronie internetowej „Interaktywne nauczanie”.

Nowe odbiorniki i źródła światła

Ostatnio, dzięki postępowi w elektronice, unikalne naukowe wynalazki są ogólnie dostępne. Postęp w elektronice całkowicie zmienił zarówno źródła, jak i odbiorniki światła.

Zapytaj swoich dziadków, w jaki sposób robiono zdjęcia dwadzieścia i więcej lat temu. Okazuje się, że była to dość skomplikowana procedura. Teraz z łatwością możesz zrobić zdjęcie za pomocą kamery w telefonie komórkowym, naciskając odpowiedni przycisk i natychmiast przesyłając gotowy obraz przyjaciółom.

Podamy jeszcze jeden przykład. O wąskiej skierowanej wiązce światła o unikalnych właściwościach wcześniej wspominało się tylko w utworach fantastycznych. Obecnie promień lasera jest wykorzystywany na tak szeroką skalę, że nawet najbardziej odważny fantasta ubiegłego wieku nie wpadłby na taki pomysł. Wygląda tak, że rozdział fizyki o nazwie „Optyka” jest beznadziejnie przestarzały i rozdział II podręcznika badaliśmy na marne?

Nie wyciągamy pospiesznych wniosków i rozpatrzmy niektóre ze współczesnych urządzeń fizycznych bardziej dokładnie.

Laser

Prawdopodobnie większość z was widziała laserowe show w cyrku lub na koncertach. Cienkie wiązki światła przenikają przestrzeń sali, szybko przelatują nad głowami widzów. Zdziwiający widok!

Na rysunku przedstawiono jeden z laserów gazowych. Jasny „sznur” światła w rurce szklanej – to nie jest promień lasera, a wyładowanie elektryczne podobne do wyładowania w świetlówkach.

Wyładowanie służy do „pompowania” ciała roboczego (gazu w środku szklanej rurki). Proces „pompowania” polega na tym, że atomy gazu stopniowo uzyskują nadmierną energię od wyładowania elektrycznego, i następnie lawinowo oddają ją w postaci impulsu (błysku)

światła. Według nazwy substancji ciała roboczego rozróżniamy lasery: gazowy, cieczowy i, najbardziej wygodny w użyciu w życiu codziennym – laser z wykorzystaniem ciał stałych.

Show laserowe to nie jedyne zastosowanie lasera. Dane urządzenia są szeroko stosowane w medycynie, wojskowości itd.



Laser gazowy (LASER – skrót pochodzący od słów ang. *light amplification by stimulated emission of radiation* – świetlny wzmacniacz przez wymuszoną emisję promieniowania)

Cyfrowy aparat fotograficzny

Błona fotograficzna była urządzeniem fiksującym obraz w aparatach fotograficznych starego typu. W cyfrowych aparatach fotograficznych takim urządzeniem jest płytka pokryta bardzo drobnymi świetlnymi czujnikami (pikselami). Każdy z tych czujników fiksuje „kawaleczek” strumienia świetlnego. Im mniejszy jest rozmiar piksela, tym bardziej jakościowy obraz można otrzymać. Płytką dobrego aparatu fotograficznego liczy 18–20 milionów pikseli. Ilość pikseli w telefonie komórkowym jest mniejsza, ponieważ robienie zdjęć nie jest podstawą pracy takiego telefonu. Odpowiednio jakość zdjęć jest gorsza.



Mikroprocesor aparatu fotograficznego obrabia informację otrzymaną od czujników i zapamiętuje ją w postaci odrębnego pliku.



Historia fotografii liczy ponad 150 lat. Jednak zarówno w starych aparatach fotograficznych, jak i we współczesnych aparatach, jednym z najważniejszych elementów jest układ optyczny, który zapewnia ostrość różnych fotografowanych obiektów: i twego przyjaciela, stojącego obok, i dalekich gór widocznych na horyzoncie. Wygląda na to, że jeszcze za wcześnie jest odkładanie optykę do lamusa, konstruktorom współczesnych aparatów fotograficznych i kamer wideo na pewno się jeszcze przyda!

A to ciekawe

Bardzo często twórcy współczesnych filmów (być może przez brak wiedzy) przeznaczają informacje o możliwościach lasera. Podamy kilka przykładów.

Ile nie puszczałbyś dymu, wszystko jedno nie zobaczysz. W wielu filmach, aby ujawnić alarm, bohaterowie puszczej kłęby dymu, wtedy promienie lasera stają się widoczne. W rzeczywistości sporządzenie laserów, pracujących w podczerwym (nie widocznym dla oka) promieniowaniu jest łatwiejsze, niżeli tych, które pracują w świetle widzialnym. Właśnie one są wykorzystywane w standardowych alarmach ochronnych. Promień podczerwony, ile byś nie puszczał na niego dymu, wszystko jedno pozostanie niewidoczny dla oka.

Chroń oczy. W filmach lasery stosowane są do cięcia metalowych przeszkód (krat, drzwi czek sejfów) – i to odpowiada rzeczywistości. Jednak autorzy filmów często zapominają o ochronie bohaterów od promieni odbitych. Odbicie nadpotężnego promienia od ciętego metalu może być bardzo silne. Dlatego, co najmniej, chroń oczy!

Spróbuj dogonić. Czasem twórcy filmów pokazują, że proces rozchodzenia się promieni jest podobny do lotu kuli. Oczywiście, nie jest to prawdą. Prędkość kuli wynosi kilkaset metrów na sekundę. Dlatego jej lot możemy zarejestrować za pomocą szybkiego filmowania. Podobnie śledzenie procesu rozchodzenia się promienia światła (przypomnimy, że prędkość światła jest ogromna – 300 000 km/s) jest niemożliwe.



Proponowane tematy projektów

1. Sporządzenie najbardziej prostego optycznego przyrządu.
2. Iluzje optyczne.
3. Badanie mocy i sprawności sztucznych źródeł światła różnego rodzaju.
4. Zwierciadła wklęsłe: właściwości i przykłady stosowania.
5. Zjawiska optyczne w przyrodzie.
6. Oko i wzrok.

Tematy referatów

1. Diody świetlne i ich przyszłość.
2. Cud fotosyntezy.
3. Miraże: jak powstają i gdzie je można obserwować.
4. W jakim celu na ubraniu pieszego umieszcza się powierzchnie odbłaskowe. W jakim celu takie powierzchnie są wykorzystywane przez automobilistów.
5. Barwa i światło.
6. Dlaczego w nocy prawie nie rozróżniamy kolorów.
7. Sztuka optyczna „Op-art” jako synteza nauki i sztuki.
8. Wady wzroku i sposoby ich korygowania za pomocą urządzeń optycznych.
9. Wzrokowe ćwiczenia. Dlaczego i w jaki sposób można naprawić wzrok.
10. Przyrządy optyczne w medycynie.
11. Historia fotografii.
12. Ultrafioletowe oczyszczanie wody.
13. Dlaczego bąbelki mydlane są różnobarwne.
14. Noktowizory.
15. Luneta: historia powstania, budowa, zasada działania.

Tematy badań eksperymentalnych

1. Badanie praw rozchodzenia się światła za pomocą wskazówki laserowej.
2. Badanie praw załamania światła i związanych z nimi efektów optycznych. Sztuczki optyczne.
3. Badanie widmowej analizy światła za pomocą pryzmatu (doświadczenie I. Newtona).
4. Badanie załamujących właściwości soczewki rozpraszającej i skupiającej.
5. Sporządzenie urządzeń optycznych (ciemni optycznej (kamery obskury), kalejdoskopu).

ROZDZIAŁ



FALE MECHANICZNE I ELEKTROMAGNETYCZNE

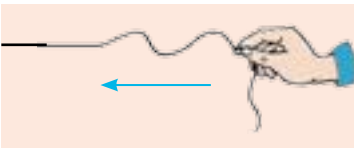
- Wiesz, że większość informacji o otaczającym nas świecie człowiek odbiera przez wzrok i słuch. Dowiesz się, co jest wspólnego w przekazywaniu informacji za pomocą światła i dźwięku
- Każdy z was umie korzystać z telefonu komórkowego. Dowiesz się, jak działa łączność komórkowa
- Słyszałeś o zatonięciu „Titanica”. Dowiesz się, dlaczego współczesne statki nie powinny powtórzyć jego losu
- Niejednokrotnie słyszałeś echo. Dowiesz się, jak z jego pomocą można zmierzyć głębokość oceanu
- Dobrze wiesz, co to jest rentgen. Dowiesz się, co jest wspólnego między promieniami rentgenowskimi i świetlnymi



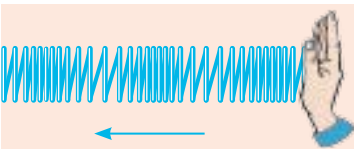
§ 17. POWSTANIE I ROZCHODZENIE SIĘ FAL MECHANICZNYCH. WIELKOŚCI FIZYCZNE CHARAKTERYZUJĄCE FALE



Rys. 17.1. Od kamyka, rzuconego do wody, po powierzchni wody rozchodzą się fale



Rys. 17.2. Rozchodzenie się fali wzdłuż sznura. Strzałką wskazany jest kierunek rozchodzenia się fal



Rys. 17.3. Rozchodzenie się fal wzdłuż sprężyny. Strzałką wskazany jest kierunek rozchodzenia się fal

W klasie 7. badałeś drgania mechaniczne. Często jest tak, że, powstając w jednym miejscu, drgania rozchodzą się w przestrzeni. Przypomnij sobie, na przykład rozchodzenie się drgań od rzuconego do wody kamyka lub drgania skorupy ziemskiej, rozchodzące się od epicentrum trzęsienia ziemi. W takich przypadkach mówimy o ruchu falowym – fale (rys. 17.1). W tym paragrafie dowiesz się o osobliwościach ruchu falowego.

1 Wytwarzamy fale mechaniczne

Weź dość długi sznur, jeden koniec którego przymocuj do powierzchni pionowej, a innym poruszaj do góry – w dół (drgając). Drgania od ręki będą rozchodzić się wzdłuż sznura, stopniowo powodując drgania najbardziej oddalonych punktów – po sznurze pobiegnie *fala mechaniczna* (rys. 17.2).

Falą mechaniczną nazywamy rozchodzenie się drgań w ośrodku sprężystym*.

Rozpatrzmy jeszcze jeden przykład. Umocuj pionowo długą miękką sprężynę i uderzaj po jej swobodnym końcu – po sprężynie pobiegnie impuls falowy (rys. 17.3).

Opisane powyżej fale można zobaczyć, jednak większość fal mechanicznych jest niewidoczna, na przykład fale dźwiękowe (rys. 17.4).

Na pierwszy rzut oka wszystkie fale mechaniczne są różne, jednak przyczyny ich powstania i rozchodzenia się – jednakowe. Wyjaśnijmy dane zagadnienie.

2 Wyjaśnijmy, jak i dlaczego w ośrodku rozchodzi się fala mechaniczna

Dowolna fala mechaniczna jest wytwarzana przez ciało drgające – *źródło fali*. Wykonując ruch drgający źródło fali *deformuje* warstwy ośrodka, znajdujące się w pobliżu niego (ściska i rozciąga

* Ośrodek nazywamy *sprężystym*, jeżeli podczas jego deformacji powstają siły, które przeciwdziałają tej deformacji – *siły sprężystości*.

lub zsuwa). W wyniku czego powstają *siły sprężystości*, działające na sąsiednie warstwy ośrodka i powodujące powstanie *drgań wymuszonych*. Te warstwy z kolei deformują kolejne warstwy i zmuszają je do drgania. Stopniowo, jedna po drugiej, wszystkie warstwy ośrodka dołączają do ruchu drgającego – ośrodkiem rozchodzi się fala mechaniczna.

3 Rozróżnimy poprzeczne i podłużne fale mechaniczne

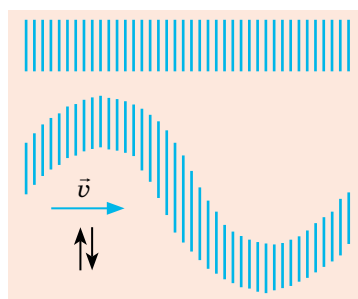
Jeżeli porównamy rozchodzenie się fal po sznurze (patrz [rys. 17.2](#)) i po sprężynie (patrz [rys. 17.3](#)), można zobaczyć pewną różnicę.

Odrębne części sznura *poruszają się (drgają) prostopadle do kierunku rozchodzenia się fali* (na [rys. 17.2](#) fala rozchodzi się z prawa na lewo, a części sznura poruszają się do góry – w dół). Takie fale nazywamy **poprzecznymi** ([rys. 17.5](#)). Podczas rozchodzenia się fal poprzecznych odbywa się zsuniecie jednych warstw ośrodka względem innych. Podczas zsuwania warstw cieczy i gazu siła sprężystości nie powstaje, dlatego *fale poprzeczne mogą rozchodzić się tylko w ciałach stałych*, ale nie mogą rozchodzić się w cieczech i gazach.

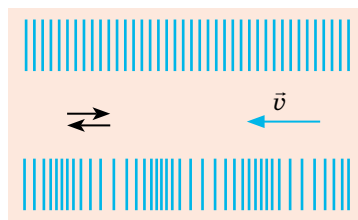
Podczas rozchodzenia się fali po sprężynie odrębne jej zwoje *poruszają się (drgają) wzdłuż kierunku rozchodzenia się fali*. Takie fale nazywamy **podłużnymi** ([rys. 17.6](#)). Podczas rozchodzenia się podłużnych fal w ośrodku odbywają się deformacje ściskania i rozciągania (wzdłuż kierunku rozchodzenia się fali gęstość ośrodka kolejno zwiększa się lub zmniejsza). Takim deformacjom w dowolnym ośrodku towarzyszy powstanie sił sprężystości. Dlatego *fale podłużne mogą rozchodzić się w ciałach stałych, w cieczy i w gazach*.



Rys. 17.4. Drganie ciała, które wydaje dźwięk, jest przyczyną powstania fali dźwiękowej

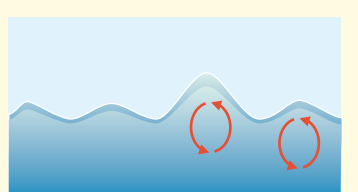


Rys. 17.5. W falach poprzecznych warstwy ośrodka drgają prostopadle do kierunku rozchodzenia się fali



Rys. 17.6. W fali podłużnej warstwy ośrodka drgają wzdłuż kierunku rozchodzenia się fali

Na powierzchni cieczy fale nie są ani podłużne, ani poprzeczne. Mają one *złożony charakter*, przy czym cząstki cieczy poruszają się po elipsach. W tym z łatwością przekonamy się, gdy rzucimy do morza lekki patyczek i będziemy obserwować jego ruch na powierzchni wody.





Rys. 17.7. Do pytania § 17

mieszczania się materii – części ośrodka tylko drgają obok niektórych położen równowagi.

5. Części ośrodka zaczynają poruszać się (uzyskują energię kinetyczną) po docieraniu do nich fali. To znaczy, że *rozchodzeniu się fali towarzyszy przemieszczanie energii*.

Przemieszczanie energii bez przemieszczania się materii jest najważniejszą właściwością dowolnej fali.

? Przypomnij sobie o rozchodzeniu się fal na powierzchni wody (rys. 17.7). Jakie obserwacje potwierdzają podstawowe właściwości ruchu falowego?

4 Odkrywamy podstawowe właściwości fal

1. Ruch drgający od jednego punktu ośrodka do innego jest przekazywany nie natychmiast, a z pewnym opóźnieniem, dlatego *fale rozchodzą się w ośrodku ze skończoną prędkością*.

2. Źródłem fal mechanicznych jest ciało drgające; o ile drgania części ośrodka są wymuszone, to *częstotliwość drgań każdego z punktów ośrodka równa się częstotliwości drgań źródła fali*.

3. *Fale mechaniczne nie rozchodzą się w próżni*.

4. *Ruch drgający odbywa się bez prze-*

5 Przypominamy wielkości fizyczne charakteryzujące drgania

Fala – rozchodzenie się *drgań*. Dlatego wielkości fizyczne charakteryzujące drgania (*częstotliwość, okres, amplituda*) również charakteryzują falę. Przypomnij zatem materiał z 7. klasy:

	Fizyczne wielkości charakteryzujące drgania		
	Częstotliwość drgań ν	Okres drgań T	Amplituda drgań A
Definicja	ilość drgań w jednostce czasu	czas pełnego drgania	maksymalna odległość, na którą odchyła się punkt od położenia równowagi
Wzór	$\nu = \frac{N}{t}$ N – ilość drgań w jednostce czasu t	$T = \frac{t}{N}$	–
Jednostka w SI	herc (1 Hz = 1 s ⁻¹)	sekunda (s)	metr (m)

Zwróć uwagę! Podczas rozchodzenia się fali mechanicznej wszystkie części ośrodka, w którym rozchodzi się fala, drgają z jednakową częstotliwością (ν) równą częstotliwości drgań źródła fali, dlatego okres drgań (T) dla wszystkich punktów ośrodka również jest jednakowy, ponieważ $T = \frac{1}{\nu}$. Natomiast amplituda drgań stopniowo zmniejsza się wraz z oddaleniem się od źródła fali.

6 Obliczamy długość i prędkość rozchodzenia się fali

Przypomnijmy sobie rozchodzenie się fali po sznurze. Niech koniec sznura wykona jedno pełne drganie, czyli czas rozchodzenia się fali równa się jednemu okresowi ($t = T$). Za ten czas fala rozchodzi się na określoną odległość λ (rys. 17.8, a). Nazywamy ją *długością fali*.

Długość fali λ – odległość, na którą rozchodzi się fala za czas, równy okresowi T :

$$\lambda = \nu T,$$

gdzie ν – prędkość rozchodzenia się fali.

Jednostka długości fali w SI – **metr**:

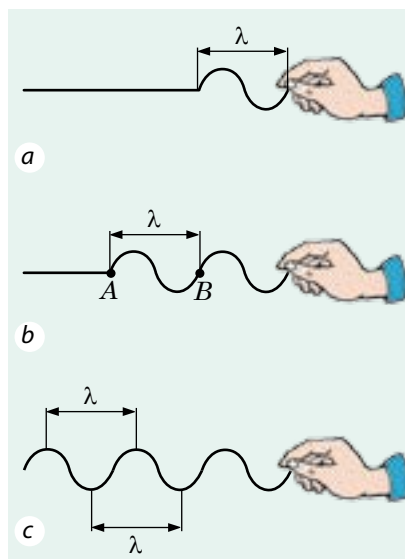
$$[\lambda] = 1 \text{ m}.$$

Z łatwością można zauważyć, że punkty sznura, znajdujące się od siebie na odległości jednej długości fali, drgają jednakowo – mają jednakową *fazę drgań* (rys. 17.8, b, c). Na przykład, punkty A i B sznura jednocześnie poruszają się do góry, docierają do grzbietu fali, następnie jednocześnie zaczynają poruszać się w dół itd.

Stosując wzór $\lambda = \nu T$, wyznaczamy prędkość rozchodzenia się fali: $\nu = \frac{\lambda}{T}$. Uwzględniając to, że $\frac{1}{T} = \nu$, otrzymamy *wzór łączności długości, częstotliwości i prędkości rozchodzenia się fali* – **wzór fali**:

$$\nu = \lambda \nu$$

Gdy fala przechodzi z jednego ośrodka do drugiego, prędkość jej rozchodzenia zmienia się; częstotliwość fali określa się źródłem fali, dlatego jest stała. Więc, zgodnie ze wzorem $\nu = \lambda \nu$ w przypadku przejścia fali z jednego ośrodka do drugiego, *długość fali zmienia się*.



Rys. 17.8. Długość fali równa się odległości, na którą rozchodzi się fala za czas jednego drgania (jest to odległość między dwoma najbliższymi grzbietami lub między dwoma najbliższymi dolinami)

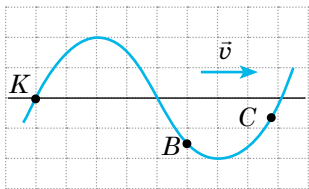
Wzór fali

$$\nu = \lambda \nu$$

- ν – prędkość rozchodzenia się fali;
- λ – długość fali;
- ν – częstotliwość fali

7

Uczymy się rozwiązywać zadania



Rys. 1

Rozwiązanie

Fala jest poprzeczna, dlatego punkty sznura wykonują drgania prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali (poruszają się w dół – do góry obok niektórych położen równowagi).

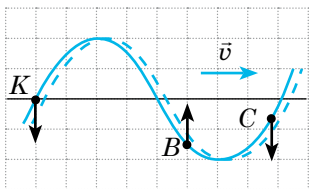
1) Z rys. 1 widać, że maksymalne odchylenie od położenia równowagi (amplituda A fali) równa się 2 kratkom. Więc, $A = 2 \cdot 15 \text{ cm} = 30 \text{ cm}$.

Odległość między grzbietem a doliną – 60 cm (4 kratki) odpowiednio, odległość między dwoma najbliższymi grzbietami (długość fali) jest dwukrotnie większa. Więc, $\lambda = 2 \cdot 60 \text{ cm} = 120 \text{ cm} = 1,2 \text{ m}$

Częstotliwość ν i okres T fali szukamy według wzoru fali:

$$v = \lambda \nu \Rightarrow \nu = \frac{v}{\lambda} = \frac{3 \text{ m/s}}{1,2 \text{ m}} = 2,5 \frac{1}{\text{s}} = 2,5 \text{ Hz};$$

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{2,5} = 0,4 \text{ (s)}.$$



Rys. 2

2) Do określenia kierunku ruchu punktów sznura wykonaj dodatkowy rysunek. Niech za niewielki odcinek czasu Δt fala przesunęła się na pewną niewielką odległość. Ponieważ fala przesuwa się w prawo, a jej kształt nie zmienia się z czasem, to punkty sznura przyjmą położenie jak pokazano na rys. 2 linią przerywaną.

Fala jest poprzeczna, czyli punkty sznura poruszają się prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali. Na rys. 2 widać, że punkt K przez odcinek czasu

Δt znajdzie się niżej od swego początkowego położenia, więc prędkość jej ruchu jest skierowana w dół; punkt B przesunie się wyżej, więc prędkość jej ruchu jest skierowana do góry; punkt C przesunie się niżej, więc prędkość jej ruchu jest skierowana w dół.

Odpowiedź: $A = 30 \text{ cm}$; $T = 0,4 \text{ s}$; $\nu = 2,5 \text{ Hz}$; $\lambda = 1,2 \text{ m}$; punkty K i C poruszają się w dół, punkt B – do góry.



Podsumowanie

Rozchodzenie się fal w ośrodku sprężystym nazywamy falą mechaniczną. Mechaniczna fala, w której ruch poszczególnych punktów odbywa się w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku rozchodzenia się fali, nazywa się poprzeczną; fala, w której ruch poszczególnych punktów odbywa się wzdłuż kierunku rozchodzenia się fali, nazywa się podłużną.

Fala rozchodzi się w przestrzeni z określoną prędkością. Zjawisku rozchodzenia się fali towarzyszy przemieszczanie energii bez przemieszczania się materii. Odległość, na którą rozchodzi się fala za czas równy okresowi, nazywamy długością fali – jest to odległość między dwoma sąsiednimi punktami o maksymalnym wychyleniu w tę samą stronę w danej chwili czasu (mają jednakową fazę drgań). Długość λ , częstotliwość ν i prędkość v rozchodzenia się fali łączą wzór fali: $v = \lambda \nu$.

Pytania kontrolne

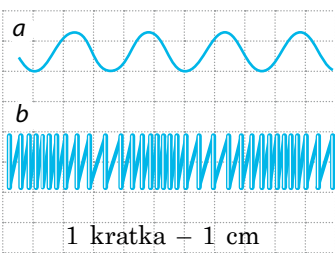


1. Podaj definicję fali mechanicznej.
2. Opisz mechanizm powstania i rozchodzenia się fali mechanicznej.
3. Wymień podstawowe właściwości ruchu drgającego.
4. Jakie fale nazywamy podłużnymi? poprzecznymi? W jakich ośrodkach one rozchodzą się?
5. Co nazywamy długością fali? Od czego ona zależy?
6. Jaki jest związek pomiędzy długością, częstotliwością i prędkością rozchodzenia się fali?

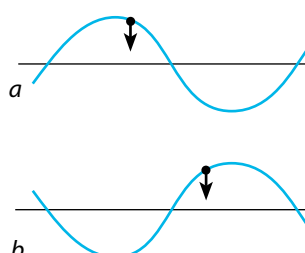
Ćwiczenie nr 17



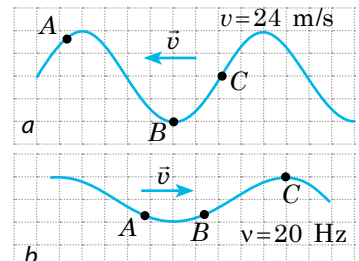
1. Na rys. 1 pokazano rozchodzenie się fali wzdłuż sznura (a) i sprężynki (b). Oblicz długość każdej fali.
2. W oceanie długość fali sięga 270 m, a jej okres wynosi 13,5 s. Oblicz prędkość rozchodzenia się fali.
3. Czy są zgodne prędkość rozchodzenia się fali i prędkość ruchu punktów ośrodka, w którym fala rozchodzi się?
4. Dlaczego fala mechaniczna nie rozchodzi się w próżni?
5. W wyniku wybuchu, przeprowadzonego przez geologów, w skorupie ziemskiej rozeszła się fala z prędkością 4,5 km/s. Odbitą od głębokich warstw Ziemi falę zarejestrowano na powierzchni Ziemi po 20 s od wybuchu. Na jakiej głębokości znajdują się kopaliny, gęstość których bardzo różni się od gęstości skorupy ziemskiej?
6. Na rys. 2 pokazano dwa sznury, wzdłuż których rozchodzi się fala poprzeczna. Na każdym sznurze pokazano kierunek drgań jednego z jej punktów. Dla każdego przypadku a i b określ kierunek rozchodzenia się fal.
7. Na rys. 3 pokazano położenie dwóch sznurów, wzdłuż których rozchodzi się fala i kierunek rozchodzenia się każdej z nich. Strona kratki ma 20 cm. Dla każdego przypadku a i b oblicz:
 - 1) amplitudę, okres, długość fali;
 - 2) kierunek, w którym na dany moment czasu poruszają się punkty A, B i C sznura;
 - 3) ilość drgań, które wykonuje dowolny punkt sznura w ciągu 30 s.
8. Człowiek, stojąc na brzegu morza, obliczył, że odległość między sąsiadującymi grzbietami fal stanowi 15 m. Oprócz tego obliczył, że w ciągu 75 s do brzegu dochodzi 16 grzbietów fali. Oblicz prędkość rozchodzenia się fal.



Rys. 1



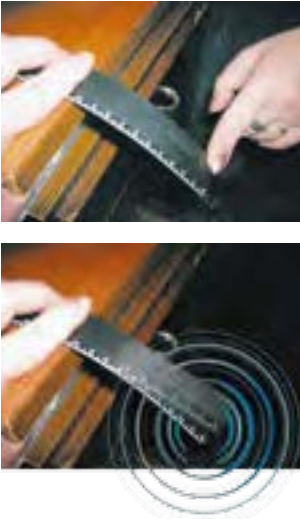
Rys. 2



Rys. 3

§ 18. FALE DŹWIĘKOWE. INFRADŹWIĘKI I ULTRADŹWIĘKI

Żyjemy w oceanie dźwięków. Czym są dźwięki? Jak one powstają? Dlaczego nie można usłyszeć szumu silników rakiety w kosmosie? Dlaczego grzmoty słyszymy później, niż widzimy błyskawicę? Dlaczego w studium zapisywania dźwięku ściany są pokryte warstwą materiału, pochłaniającego dźwięk? Jak w całkowitej ciemności nietoperze i delfiny znajdują swoją zdobycz? Spróbujmy znaleźć odpowiedzi na te pytania.



Rys. 18.1. Po odpuszczeniu końców linijki zaczyna ona drgać i wydawać dźwięki

1 Zapoznajemy się ze źródłami i odbiornikami dźwięku

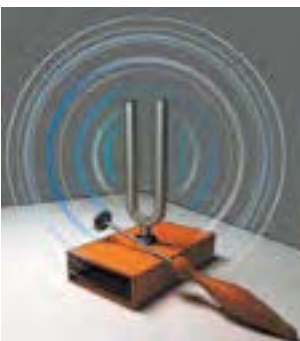
Przyciśnij do brzegu stołu jeden z końców linijki i uderz po jej wolnym końcu – zacznie on drgać, usłyszysz dźwięk (rys. 18.1). Chodzi o to, że drganie linijki powoduje zagęszczenie i rozrzedzenie powietrza i jako skutek – okresowe zwiększenie i zmniejszenie ciśnienia w strefie drgań. Ściśnięte powietrze, rozszerzając się, ciśnię na sąsiednie warstwy, tym samym ściskając je. Tym sposobem od linijki we wszystkie strony zaczyna rozchodzić się podłużna fala mechaniczna, która w końcu dotrze do twoich uszu. Ciśnienie powietrza obok błony bębenkowej ucha okresowo zmienia się i błona zaczyna drgać. Koniec linijki zaczyna drgać z częstotliwością powyżej 20 Hz i z taką samą częstotliwością zaczyna drgać błona bębenkowa ucha, a drgania o częstotliwości od 20 do 20 000 Hz człowiek odbiera jako dźwięk.

Dźwięk – jest to zjawisko fizyczne w postaci fali mechanicznej o częstotliwości od 20 do 20 000 Hz.

Źródła dźwięku są to różnorodne ciała drgające z częstotliwością 20–20 000 Hz. Dlatego źródłami dźwięków są błony słuchawek i struny instrumentów muzycznych, dyfuzory głośników i skrzydła owadów, części maszyn. W trąbce, flecie, gwizdku dźwięk powstaje na skutek drgań słupa powietrza w środku instrumentu. Aparaty głosowe człowieka i zwierząt również są źródłami dźwięku.

? Podaj jeszcze kilka przykładów źródeł dźwięku.

Do badania dźwięku wygodnie jest stosować *kamerton* (rys. 18.2). Jest to urządzenie, składające się z metalowej „procy”, umocowanej na pudełku z twardego drewna bez jednej bocznej ścianki. Gdy gumowym młotkiem uderzymy po widelkach kamertonu, kamerton znacznie wydawać wyraźny długi dźwięk, który stopniowo słabnie przy niezmienniej częstotliwości.



Rys. 18.2. Widelki kamertonu drgają i dlatego wydają dźwięki

W odbiornikach dźwięku zachodzi przekształcanie sygnałów dźwiękowych na inne sygnały, dzięki czemu dźwięk można odbierać i analizować. Do odbiorników dźwięku, między innymi, należą narządy słuchu człowieka i zwierząt – w nich dźwiękowe (mechaniczne) drgania przekształcają się na nerwowe impulsy. W technice do odbierania dźwięku w większości przypadków wykorzystuje się urządzenia, w których drgania dźwiękowe zazwyczaj przekształcają się na elektryczne (rys. 18.3).



Rys. 18.3. W mikrofonie drgania dźwiękowe zamieniają się na elektryczne

2 Mierzmy prędkość rozchodzenia się dźwięku

Jeżeli z daleka zauważymy moment, w którym powstaje dźwięk (uderzenie dzwonu, klaśnięcie itp.) zauważymy, iż dźwięk słyszymy po pewnym czasie. Znając odległość do źródła dźwięku i czas opóźnienia, można zmierzyć prędkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu.

Po raz pierwszy prędkość rozpowszechnienia się dźwięku w powietrzu zmierzył uczony francuski *Marin Mersenne* (1588–1648) w 1636 r.

Przy temperaturze 20° C prędkość dźwięku w powietrzu stanowi około 340 m/s. To prawie milion razy mniej od prędkości rozchodzenia się światła. Właśnie dlatego grzmoty słyszymy później, niż widzimy błyskawicę (rys. 18.4).

Prędkość rozchodzenia się dźwięku zależy od temperatury, gęstości, składu i innych charakterystyk ośrodka. Tak więc w cieczach dźwięk rozchodzi się prędzej niż w gazach i wolniej niż w ciałach stałych. Prędkość rozchodzenia się dźwięku zazwyczaj zwiększa się wraz ze zwiększeniem temperatury ośrodka. Oprócz tego, im mniejsza jest masa cząsteczek ośrodka tym szybciej rozchodzi się dźwięk. Rozwiązując zadania będziemy wykorzystywać przybliżone wartości prędkości rozchodzenia się dźwięku (patrz tabelę na s. 120).



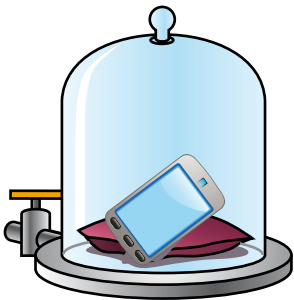
Rys. 18.4. Jeżeli burza jest od nas daleko, to grzmoty można usłyszeć nawet po 10–20 s od błyskawicy

Pierwszych dokładnych pomiarów prędkości rozchodzenia się dźwięku w wodzie dokonali szwajcarscy uczeni *Jean Colladon* i *Charles Sturm* w 1826 r.

Jeden z badaczy siedział w łodzi na jeziorze w Genewie i uderzał po zanurzonej w wodzie dzwonie. Jednocześnie z uderzeniem zapalano proch. Drugi badacz, znajdując się na odległości 16 km, mierzył czas pomiędzy zapalaniem prochu i dźwiękiem od uderzenia dzwonu, który on słyszał przez zanurzoną do wody rurę.

Przybliżone wartości prędkości rozchodzenia się dźwięku w niektórych ośrodkach

Ośrodek	v , m/s
Woda	1500
Wodór	1250
Żelazo, stal, mosiądz	5000
Powietrze	340
Szkło	4500



Rys. 18.5. Jeżeli położymy telefon komórkowy pod klosz pompy powietrznej i odpompujemy powietrze, to nie usłyszymy żadnego sygnału

Oprócz głośności i wysokości tonu rozróżniamy dźwięki według **barwy**: ta sama nuta zagrana na fortepianie, saksofonie lub odtwarzana przez różnych ludzi, brzmi inaczej. Takie różnorodne „odcienie” dźwięków nazywamy **barwami**.

Chodzi o to, że dźwięki są złożone: oprócz podstawowej częstotliwości (według której oceniamy wysokość dźwięku) dowolny dźwięk zawiera kilka bardziej słabych i bardziej wysokich częstotliwości – *aliquotów*. Im więcej aliquotów zawiera podstawowy dźwięk, tym jest on bardziej bogaty.

? Przeanalizuj tabelę. Dlaczego, twoim zdaniem, prędkość rozchodzenia się dźwięku w wodrze jest większa niżeli w powietrzu, a w stali większa niżeli w wodzie?

Zwróć uwagę! Ponieważ dźwięk – to fala mechaniczna, a do rozchodzenia się fali mechanicznej niezbędny jest ośrodek, *fala dźwiękowa nie rozchodzi się w próżni* (rys. 18.5).

3 Badamy cechy dźwięku

Dźwięki o różnej częstotliwości odbieramy jako dźwięki różnego tonu: *im większa częstotliwość dźwięku, tym wyższy jest ton dźwięku* i odwrotnie. Z łatwością rozróżniamy wysoki ton brzmienia komara od niskiego tonu brzęczenia trzmiela, brzmienie skrzypiec od brzmienia kontrabasu.

Głośność dźwięku jest określana przede wszystkim amplitudą fali dźwiękowej (największą zmianą ciśnienia w miejscu obserwacji): im większa jest amplituda, tym głośniejszy jest dźwięk. Jednak głośność dźwięku również zależy od jego tonu (częstotliwości fali dźwiękowej). Ucho ludzkie dobrze rozróżnia dźwięki o niskich (około 20 Hz) i wysokich (około 20 000 Hz) częstotliwościach i najlepiej – o średnich częstotliwościach (1000–3000 Hz).

Podczas rozchodzenia się dźwięku zachodzi stopniowe *rozpraszanie i tłumienie dźwięku*, czyli zmniejszanie jego głośności. Wiedza o prawidłowościach rozpraszania dźwięku jest ważna do określenia zasięgu rozchodzenia się sygnału dźwiękowego. Tak, na zasięg rozchodzenia się dźwięku w powietrzu ma wpływ temperatura i ciśnienie atmosferyczne, siła i prędkość wiatru itp. Czasem na dużych głębokościach oceanu powstają warunki do największego (powyżej 5000 km) rozchodzenia się dźwięku – w takim przypadku mówi się o podwodnym kanale dźwiękowym.

4 Obserwujemy odbicie dźwięku

Porównując rozchodzenie się dźwięku i rozchodzenie się światła można zauważyć niektóre wspólne cechy. Jest to logiczne: światło również jest falą, lecz nie mechaniczną (o tym dowiesz się później). Na granicy podziału różnych ośrodków, fala dźwiękowa, podobnie do światła, załamuje się, pochłania się i odbija się. Bardziej szczegółowo zastrzymamy się na odbiciu dźwięku.

Jeżeli staniemy niedaleko skały lub pojedynczo stojącego wieżowca i klaśniemy w dłonie czy głośno krzyknemy, to przez niewielki odcinek czasu usłyszymy powtórzenie dźwięku. Jest to *echo* (rys. 18.6).

Echo – to dźwięk odbity od oddalonej przeszkody.

Jeżeli odległość do przeszkody jest dość duża, a dźwięk krótki (uderzenie, klaśnięcie, okrzyk), słyszymy wyraźne powtórzenie dźwięku. Jeżeli dźwięk jest długi, to echo miesza się z pierwotnym dźwiękiem i odbity dźwięk będzie niewyraźny.

? Dlaczego, według ciebie, podczas burzy po pierwszym uderzeniu grzmotu jeszcze jakiś czas słyszymy jego brzmienie?

Odbicie dźwięku jest podstawą działania dźwiękochłonnych ekranów, które ustawia się wzdłuż autostrady i w pobliżu lotniska. Badania odbicia, rozpraszania i tłumienia dźwięku w gazach, cieczach i ciałach stałych pozwala otrzymać informację o wewnętrznej budowie ośrodka, w którym rozchodzi się dźwięk.



Rys. 18.6. Echo powstaje na skutek odbicia dźwięku

5 Rozróżniamy infradźwięki i ultradźwięki

Fale dźwiękowe – niesłyszalne dla człowieka dźwięki o częstotliwości mniejszej niż 20 Hz nazywamy **infradźwiękami** (z łac. *infra* – niżej, pod).

Infradźwięki powstają podczas pracy niektórych mechanizmów, podczas wybuchów, zawałów, mocnych wiatrów, podczas burzy na morzu, trzęsienia ziemi.

Infradźwięk jest bardzo niebezpieczny dla człowieka i zwierząt: może powodować symptomy choroby morskiej, ślepotę, agresję. W przypadku dłuższego działania intensywne infradźwiękowe promieniowanie może doprowadzić do zatrzymania serca. Przy tym człowiek nawet nie rozumie, co odbywa się, ponieważ nie słyszy infradźwięku.

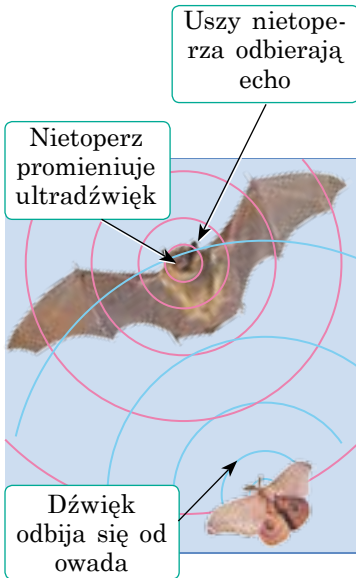
Fale dźwiękowe – niesłyszalne dla człowieka dźwięki o częstotliwości większej niż 20 kHz nazywamy **ultradźwiękami** (z łac. *ultra* – powyżej, poza granicami).

Ultradźwięk jest w szumie wiatru i wodospadu, w dźwiękach, które wydają niektóre istoty żywe. Udowodniono, że ultradźwięk do 100 kHz jest odbierany przez wiele owadów i zwierząt (rys. 18.7); takie drgania słyszą też psy. Ciekawe jest to, że dzieci, w odróżnieniu od dorosłych, również słyszą sygnały ultradźwiękowe (do 24 000 Hz).

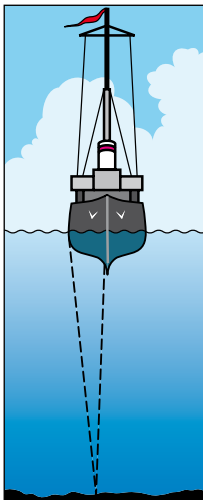
Niektóre istoty stosują ultradźwięk do orientacji lub polowania. Nietoperze i delfiny promieniują



Rys. 18.7. Ultradźwiękowy promiennik do odstraszenia owadów



Rys. 18.8. Podczas polowania nietoperze wykorzystują echolokację



Rys. 18.9. Mierzenie głębokości zbiorników wodnych za pomocą echolokacji

ultradźwięk i odbierają jego echo, dzięki czemu mogą w całkowitej ciemności odszukać drogę lub złapać zdobycz. W takich przypadkach mówi się, że zwierzęta wykorzystują *echolokację* (rys. 18.8).

Echolokacja – sposób odnalezienia i otrzymania informacji o obiekcie za pomocą echa.

Ludzie nauczyli się wykorzystywać echolokację w różnych dziedzinach, przy czym najczęściej w echolokacji wykorzystywany jest ultradźwięk.

Na przykład, w medycynie echolokacja pozwala „zobaczyć” jeszcze nienarodzone dziecko, zbadać stan narządów wewnętrznych, zobaczyć obce ciała w tkankach. W technice echolokacja jest wykorzystywana do poszukiwania defektu w wyrobach, do pomiaru głębokości mórz i oceanów (rys. 18.9) i in.

Oprócz tego, za pomocą ultradźwięku sterylizuje się instrumenty chirurgiczne, leki, ręce chirurgów itp. Leczenie za pomocą ultradźwięku czasami pozwala obejść się bez zabiegów chirurgicznych.

Ultradźwięk jest wykorzystywany do obrabiania materiałów, oczyszczenia powierzchni od zabrudzenia.

Pytania kontrolne



1. Co nazywamy dźwiękiem?
2. Podaj przykłady źródeł i odbiorników dźwięku.
3. Dłaczego źródło dźwięku promieniuje dźwięk?
4. Od czego zależy prędkość rozchodzenia się dźwięku?
5. Jaką fizyczną wielkością określa się wysokość tonu?
6. Czym określa się głośność dźwięku?
7. Skutkiem jakiego zjawiska jest echo?
8. Co nazywamy infradźwiękiem? Jak wpływa on na człowieka?
9. Co nazywamy ultradźwiękiem? Podaj przykłady zastosowania ultradźwięku w przyrodzie, medycynie, technice.
10. Czym jest echolokacja?



Ćwiczenie nr 18

1. Widełki kamertonu drgają z częstotliwością 440 Hz. Czy odbieramy falę, rozchodzącą się od widełek jako dźwięk?
2. Dlaczego lecącego motyla nie słyszymy, a gdy leci komar, to słyszymy jego brzęczenie?
3. Oblicz długość fali dźwiękowej o częstotliwości 4 kHz w powietrzu; wodzie; stali.

4. Dlaczego muzyka i głosy śpiewaków inaczej brzmią w pustej sali i w sali, wypełnionej publicznością?
5. Za pomocą ultradźwięku mierzono głębokość morza (patrz rys. 18.9). Sygnał odbity od dna morza zarejestrowano po 4 s od jego wysłania. Jaka jest głębokość morza w miejscu mierzenia? Ile drgań wykonuje źródło dźwięku w ciągu 5 s, jeżeli długość fali w powietrzu wynosi 1 m?
7. *Prędkość rozchodzenia się dźwięku w metalu* po raz pierwszy obliczył francuski fizyk *Jean-Baptiste Biot* (1774–1862). Wykorzystał on rurę zrobioną z mosiądzu o długości 951 m. Gdy po jednym końcu rury uderzano młotkiem, na drugim końcu słychać było podwójne uderzenie. O ile sekund dźwięk rozchodzący się w mosiądzu wyprzedzał dźwięk rozchodzący się w powietrzu?
8. Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się, gdzie jest wykorzystywany ultradźwięk.
9. Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się, jak wpływa szum na zdrowie człowieka. Jak można maksymalnie zmniejszyć szkodliwe działanie szumu?
10. Źródło światła i zwierciadło znajdują się na jednej prostej na odległości 10,8 km od siebie. Po jakim czasie błysk światła dotrze do zwierciadła i wróci z powrotem?



Doświadczenie

1. „*Prawie Pitagoras*”. Badania dźwięku, który wydaje drgająca struna, dokonał jeszcze starożytny grecki uczoney *Pitagoras* (VI w. p.n.e.). badał on zależność wysokości tonu od długości struny. Za pomocą naciągniętej nici wyjaśnij, jak wysokość tonu zależy od długości nici.
2. „*Linijka muzyczna*”. Powtórz doświadczenie, pokazane na rys. 18.1. Zmniejszając długość części linijki drgającej udowodnij, że im mniejsza jest ta długość, tym większa jest częstotliwość dźwięku.
3. „*Czuła kulka*”. Za pomocą podwieszanej na nitce lekkiej kulki udowodnij, że podczas promieniowania dźwięku widelki kamertonu drgają, a głośność dźwięku zależy od amplitudy drgań.

Fizyka i technika na Ukrainie



Borys Grabowski (1901–1966) – ukraiński fizyk i wynalazca, twórca elektronicznego systemu przekazywania ruchomego obrazu na odległość (na tej zasadzie pracuje współczesna telewizja); syn wybitnego ukraińskiego poety Pawła Grabowskiego.

Pierwszy wynalazek B. Grabowskiego – komutator katodowy, który stał się podstawą dla sporządzenia kineskopu, a następny – projekt urządzenia telewizyjnego, który autor nazwał „radiotelefort”.

26 lipca 1928 r. w Taszkencie przeprowadzono doświadczenie, podczas którego po raz pierwszy za pomocą elektronicznej metody pokazano ruchomy obraz (twarz laboranta).

Wśród wynalazków Borysa Grabowskiego – małolitrażowy helikopter, trójskrzydłowy szybowiec, przyrząd do orientacji niewidomych i aparat dla głuchoniemych. Opatentowaną przez uczonego ideę otrzymywania katodowego promienia sukcesywnie wykorzystano w instytucie elektrospawania, o czym wynalazcy osobiście napisał dyrektor instytutu akademik B. Paton.

W 1977 r. w Taszkencie założono muzeum telewizji elektronicznej imienia B. Grabowskiego. Są muzea B. Grabowskiego w Tiumieni i we wsi Puszkarne (obecnie Grabowskie na Sumszczyźnie).

PRACA LABORATORYJNA NR 6



Temat. Badanie drgań dźwiękowych różnorodnych źródeł dźwięku za pomocą współczesnych cyfrowych urządzeń.

Cel: wyjaśnić związek pomiędzy charakterystykami fali dźwiękowej (amplituda, częstotliwość) a głośnością i wysokością dźwięku.

Przyrządy: komputer (lub telefon komórkowy) z odpowiednimi programami, mikrofon, kamerton, generator dźwiękowych częstotliwości.

Wiedza teoretyczna

Zapisywać dźwięk można na różne sposoby: magnetyczny, optyczny, cyfrowy. Zapis dźwięku w komputerach jest zapisem cyfrowym. Zapisany dźwięk jest przechowywany w pliku audio i po opracowaniu przekazywany na monitor komputera w postaci wykresu, który pokazuje zmiany ciśnienia w strefie przesłuchiwania przez równe niewielkie odcinki czasu (patrz rysunek).

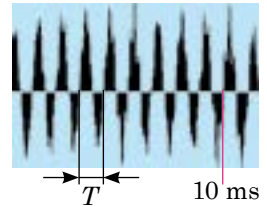
Według wykresu można określić:

- 1) *głośność dźwięku* – wyznacza się amplitudą A fali dźwiękowej;
- 2) *ton dźwięku* – wyznacza się częstotliwością ν (okresem T) fali dźwiękowej.

Na przykład, według wykresu na rysunku wyznaczamy, że w ciągu 10 ms odbyło się prawie 9 drgań (dokładnie 8,8) więc, częstotliwość fali dźwiękowej wynosi:

$$\nu = \frac{8,8}{0,01 \text{ s}} = 880 \text{ Hz. Tak, więc na wykresie podano cyfrowy zapis brzmienia nuty$$

„la” drugiej oktawy (patrz tabelę).



Nuty	Częstotliwość ν , Hz		Nuty	Częstotliwość ν , Hz	
	pierwsza oktawa	druga oktawa		pierwsza oktawa	druga oktawa
Do	261,63	523,26	Sol	392,00	784,00
Re	293,66	587,32	La	440,00	880,00
Mi	329,63	659,26	Si	493,88	987,76
Fa	349,23	698,46			

WYKONANIE PRACY

II Przygotowanie się do doświadczenia

1. Przed wykonaniem pracy przypomnij sobie: 1) zasady bezpieczeństwa podczas wykonywania prac laboratoryjnych; 2) podstawowe cechy dźwięków.
2. Włącz komputer, podłącz do niego mikrofon.
3. Uruchom program „Zapisywanie dźwięków” (ze zbioru standardowych programów SO Windows), dlatego kliknij przycisk „Start” i wybierz polecenia: Programy → Standardowy → Rozrywki → Zapis dźwięku.

▶ Doświadczenie

Przestrzegaj reguł bezpieczeństwa (patrz wklejka).

Otrzymane pliki audio zachowaj pod odpowiednią nazwą.

1. Włącz generator częstotliwości dźwiękowej, ustawiając sygnał wyjściowy na częstotliwość 440 Hz.
2. Włącz zapis sygnału. Wyłącz zapis po 4–6 s.
3. Nie zmieniając częstotliwości, zwiększ głośność sygnału generatora, powtórz działania opisane w p. 2.
4. Ustaw sygnał wyjściowy na częstotliwość 880 Hz i powtórz działania opisane w p. 2.
5. Postaw kamerton. Uderz po nim gumowym młoteczką i powtórz działania opisane w p. 2.
6. Zaśpiewaj do mikrofonu kilka nut, dla każdej nuty powtórz działanie opisane w p. 2.

▶ Opracowanie wyników doświadczenia

Wyniki pomiarów i obliczeń wpisuj do tabeli.

1. Dla każdego doświadczenia wyznacz częstotliwość fali dźwiękowej. W tym celu:
 - 1) otwórz plik audio (na ekranie zobaczysz wykres podobny do wykresu na rysunku);
 - 2) oblicz ilość drgań, na przykład w ciągu 10 ms;
 - 3) według wzoru $v=N/t$, oblicz częstotliwość fali dźwiękowej.

Nr doświadczenia	Nazwa doświadczenia	Czas drgań t , ms	Ilość drgań N	Częstotliwość fali ν , Hz
1				
...				

2. Wykonaj rysunki dowolnych trzech doświadczeń. Podpisz je.

□ Analiza wyników doświadczenia

Przeanalizuj doświadczenie i jego wyniki. Sformułuj wniosek, w którym: 1) otrzymane wyniki porównaj z daną częstotliwością generatora, częstotliwością kamertonu, wartościami częstotliwości danymi w tabeli, które odpowiadają pewnym nutom; 2) wskaż przyczyny możliwej rozbieżności wyników.

* Zadanie „z gwiazdką”

Według wzoru: $\varepsilon = \left| 1 - \frac{v_{\text{mierz}}}{v_{\text{rzeczyw}}} \right| \cdot 100\%$ oblicz względny błąd pomiaru jednego z doświadczeń.

+ Zadanie twórcze

Pomyśl, jakie doświadczenie należy przeprowadzić, aby wykryć, który z materiałów lepiej pochłania dźwięk; w których materiałach dźwięk rozchodzi się lepiej. Zapisz plan doświadczenia. Przeprowadź doświadczenie, zapisz jego wyniki.

§ 19. POLE ELEKTROMAGNETYCZNE. FALE ELEKTROMAGNETYCZNE

Czytałeś w dzieciństwie bajki? Z pewnością tak. Przypomnij sobie: „toczy się złote jabłuszko po srebrnym talerzyku”, i bohater bajki widzi „góry wysokie, morza głębokie” i wiele innego, co odbywa się za „siedmiu górami i siedmiu lasami”. Co ci przypomina to urządzenie z bajki? W tym, prawdopodobnie, i komórkowy Internet. O tym, jakie odkrycia w fizyce pozwoliły wynaleźć taką „bajkową” rzecz, dowiesz się w tym paragrafie.



Rys. 19.1. James Clerk Maxwell (1831–1879) – angielski fizyk i matematyk, twórca klasycznej elektrodynamiki, jeden z założycieli fizyki statystycznej

1

Dowiadujemy się o polu elektromagnetycznym

Najpierw przypominamy: istnieją dwa rodzaje materii – *substancja i pole*. Obydwa *istnieją w rzeczywistości*, a nie są „modelem”, za pomocą którego wyjaśnia się te czy inne zjawiska fizyczne.

W zeszłym roku dowiedziałeś się o *polu elektrycznym*, w tym roku – o *polu magnetycznym*. Wyjaśniłeś, że *zmiennne pole magnetyczne* nie tylko działa na ruchomo naładowane cząstki i namagnesowane ciała, a także *wytwarza pole elektryczne*. Taki wniosek w pewnym czasie wyciągnął *Michael Faraday*.

Stosując zasadę symetrii, wybitny fizyk angielski *James Maxwell* (rys. 19.1) wysunął potwierdzoną z czasem hipotezę o tym, że nie tylko *zmiennne pole magnetyczne wytwarza pole elektryczne*, a i *zmiennne pole elektryczne wytwarza pole magnetyczne*. Odpowiednio do tej hipotezy *pole elektryczne i magnetyczne zawsze istnieją razem*

i nie ma sensu rozpatrywać je jako osobne obiekty. Czyli istnieje jedyne **pole elektromagnetyczne**, a pola elektryczne i magnetyczne to dwie części składowe *pola elektromagnetycznego*.

Pole elektromagnetyczne – rodzaj materii, za pomocą której zachodzi wzajemne oddziaływanie pomiędzy naładowanymi ciałami i cząstkami oraz ciałami namagnesowanymi.

Niektórzy z was mogą nie zgadzać się z wnioskiem Maxwella, ponieważ dobrze wiadomo, że na przykład, obok nieruchomego ciała naładowanego istnieje tylko pole elektryczne, a obok nieruchomego trwałego magnesu – tylko pole magnetyczne. Jednak przypomnij sobie: ruch i spoczynek zależą od wyboru układu odniesienia.

Wyobraź sobie, że trzymając w ręku naładowaną kulkę idziesz w kierunku do swego kolegi. Jeżeliby człowiek mógł zawsze odczuwać pole elektromagnetyczne, to w tym przypadku „zobaczyłbyś” tylko jedną jego część składową – pole elektryczne, tak jak względem ciebie ładunek jest nieruchomy. Wówczas twój kolega „zobaczyłby” i pole elektryczne, i magnetyczne, ponieważ względem niego ładunek porusza się i pole elektryczne zmienia się (patrz rys. 19.2).

? Jeżeli twój kolega weźmie magnes i poniesie go w kierunku od ciebie (patrz rys. 19.3), kto z was „zobaczy” tylko pole magnetyczne, a kto – i magnetyczne, i elektryczne?

Zatem twierdzenie, że w danym punkcie istnieje tylko elektryczne (czy tylko magnetyczne) pole, nie ma sensu, o ile nie jest wskazany układ odniesienia. Jednocześnie nigdy nie znajdziemy układu odniesienia, względem którego zniknęłyby obie części składowe pola elektromagnetycznego, ponieważ *pole elektromagnetyczne jest materialne*.

2 Stwarzamy fale elektromagnetyczne

Analizując wszystkie znane na ten czas prawa elektrodynamiki, J. Maxwell otrzymał fantastyczny na ten czas teoretyczny matematycznie opisany wniosek: w przyrodzie powinny istnieć *fale elektromagnetyczne*.

Fala elektromagnetyczna – to rozchodzenie się w przestrzeni zmiennego pola elektromagnetycznego.

Spróbuj wyobrazić sobie, jak powstaje i rozchodzi się fala elektromagnetyczna. Weź przewodnik, w którym płynie prąd zmienny (rys. 19.4). Jak wiadomo, obok dowolnego przewodnika z prądem istnieje pole magnetyczne. Pole magnetyczne, wytworzone przez prąd zmienny również jest zmiennie. Zgodnie z teorią Maxwella zmiennie pole magnetyczne powinno wytwarzać pole elektryczne, które również będzie zmiennie. Zmienne pole elektryczne wytwarza zmiennie magnetyczne itd. Otrzymamy zatem *rozchodzenie się drgań pola elektromagnetycznego – falę elektromagnetyczną* (rys. 19.5). Częstotliwość ν tej fali równa się częstotliwości, z którą zmienia się natężenie prądu w przewodniku, a *przewodnik ze zmiennym prądem jest źródłem fali elektromagnetycznej*.

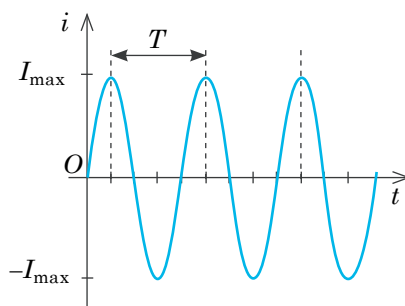
Podobnie jak fala mechaniczna może oderwać się od swego źródła (przypomnij sobie rozchodzenie się fali od rzuconego do wody kamyczka), fala elektromagnetyczna również może oderwać się od swego źródła i zacząć samodzielnie rozchodzić się w przestrzeni.



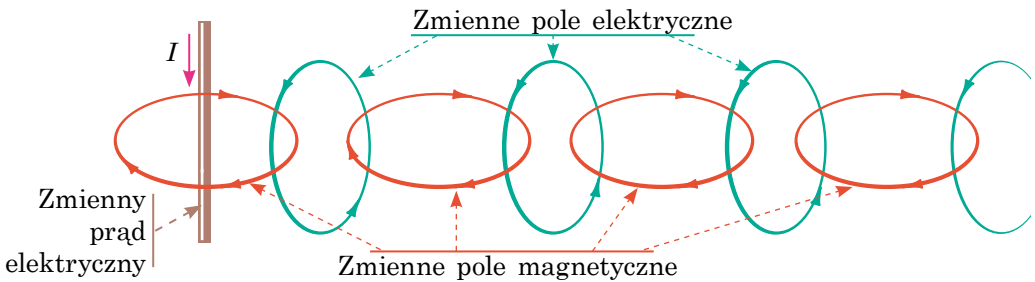
Rys. 19.2. W układzie odniesienia związanym z chłopczykiem ujawnia się tylko składowa elektryczna pola elektromagnetycznego. W układzie odniesienia związanym z dziewczynką ujawniają się obydwie składowe – i elektryczna, i magnetyczna



Rys. 19.3. Do pytania w § 19



Rys. 19.4. Zmienny prąd – jest to prąd, natężenie którego zmienia się okresowo: z czasem wartość natężenia prądu zwiększa się lub zmniejsza się; zmienia się również kierunek prądu



Rys. 19.5. Schemat mechanizmu rozchodzenia się fali elektromagnetycznej

Ciekawe jest to, że niektóre fale elektromagnetyczne „podróżują” we Wszechświecie prawie od początku swego istnienia.

Zgodnie z teorią Maxwella, *źródłem fali elektromagnetycznej może być dowolna naładowana cząstka poruszająca się z przyspieszeniem* (czyli cząstka, która ciągle zmienia prędkość swego ruchu lub według wartości, lub według kierunku, lub jednocześnie – i według wartości, i według kierunku). Jeżeli cząstka jest nieruchoma lub porusza się ze stałą prędkością, obok niej istnieje pole elektromagnetyczne, lecz fali elektromagnetycznej cząstka nie wypromieniowuje.

Promieniowanie fal elektromagnetycznych towarzyszy niektórym procesom zachodzącym w środku cząsteczek, atomów, jąder atomów (teoria takich procesów – *kwantowa teoria* – została stworzona w XX w.).

3 Opisuujemy cechy fali elektromagnetycznej

Fala elektromagnetyczna, podobnie do mechanicznej, charakteryzuje się *częstotliwością* (ν), *długością* (λ) i *prędkością rozchodzenia się* (v). Podobnie jak w przypadku z falami mechanicznymi, dane wielkości łączy *wzór fali*:

$$v = \lambda \nu$$

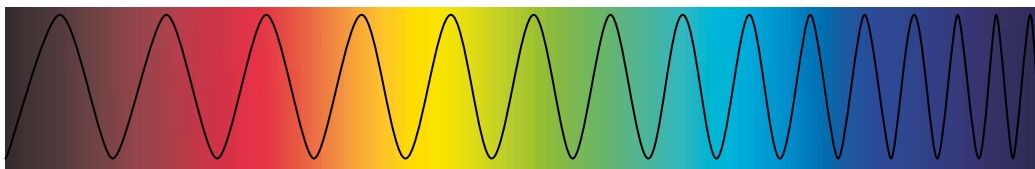
Jednak, w odróżnieniu od fal mechanicznych, do rozchodzenia się falom elektromagnetycznym nie jest potrzebny ośrodek. Odwrotnie, najlepiej i najszybciej elektromagnetyczne fale rozchodzą się w próżni. J. Maxwell teoretycznie obliczył *prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej w próżni* i ze zdziwieniem odkrył, że otrzymana wartość zgadza się z wartością prędkości światła w próżni (na ten czas zmierzona doświadczalnie):

$$v = c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

J. Maxwell wysunął prawdziwe i śmiało na ten czas przypuszczenie: *światło jest odmianą fali elektromagnetycznej* (rys. 19.6). Uczony nie tylko ujawnił naturę światła, lecz przewidział istnienie i właściwości różnych rodzajów fal elektromagnetycznych.

W próżni – i wyłącznie w niej – wszystkie fale elektromagnetyczne rozchodzą się z jednakową prędkością (c), dlatego dla próżni długość i częstotliwość fali elektromagnetycznej związane są wzorem:

$$c = \lambda \nu$$



Rys. 19.6. Światło – to fale elektromagnetyczne. Częstotliwość tych fal zmienia się w przybliżeniu od $4 \cdot 10^{14}$ Hz (barwa czerwona) do $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz (barwa fioletowa)

Podczas przejścia z jednego ośrodka do innego prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej zmienia się, zmienia się również i długość fali, a częstotliwość pozostaje stała. W powietrzu prędkość rozchodzenia się fal elektromagnetycznych jest prawie taka sama jak i w próżni.

Po 15 latach od stworzenia teorii elektromagnetycznego pola Maxwella potwierdzono doświadczalnie: *Heinrich Herz* (rys. 19.7) zaprezentował wypromieniowanie i odbieranie fal elektromagnetycznych. Herz nie tylko otrzymał fale elektromagnetyczne, również zbadał ich właściwości. Ustalił, że *fale elektromagnetyczne*:

- odbijają się od ciał przewodzących (kąąt odbicia równa się kątowemu padania);
- załamują się na granicy z dielektrykiem;
- częściowo są pochłaniane **przez** substancję i częściowo są rozpraszane **przez nią i in.**

Wszystkie te zjawiska uwarunkowane są działaniem pola elektromagnetycznego na naładowane cząstki w substancji. Jeżeli fala elektromagnetyczna pada na powierzchnię metalu, to na swobodne elektrony działa zmienne pole elektryczne (elektryczna część składowa fali elektromagnetycznej). Na skutek tego działania w powierzchniowej warstwie metalu powstają zmienne prądy elektryczne, które z kolei promieniują odbitą falą elektromagnetyczną.



Rys. 19.7. Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894) – fizyk niemiecki, jeden z założycieli elektrodynamiki



Podsumowanie

Wzajemne oddziaływanie cząstek naładowanych odbywa się za pomocą pola elektromagnetycznego. Elektromagnetyczne pole ma dwie części składowe – elektryczną składową (pole elektryczne) i magnetyczną składową (pole magnetyczne): zmienne pole magnetyczne wytwarza pole elektryczne, a zmienne pole elektryczne wytwarza pole magnetyczne.

Rozchodzenie się w przestrzeni zmiennego pola elektromagnetycznego nazywamy falą elektromagnetyczną. Prędkość rozchodzenia się fali, jej długość i częstotliwość są związane ze sobą wzorem fali: $v = \lambda \nu$. Najlepiej i najprędzej fale elektromagnetyczne rozchodzą się w próżni. Prędkość rozchodzenia się elektromagnetycznych fal w próżni jest jednakowa dla dowolnych elektromagnetycznych fal i równa się prędkości światła $c = 3 \cdot 10^8$ m/s. Światło również jest falą elektromagnetyczną. Dla próżni wzór fali zapisuje się w postaci: $c = \lambda \nu$.

Pytania kontrolne



1. Na czym polega hipoteza J. Maxwella? **2.** Podaj definicję pola elektromagnetycznego, wymień jego części składowe. **3.** Podaj przykłady potwierdzające względność pól elektrycznego i magnetycznego. **4.** Jak powstaje fala elektromagnetyczna? Jakie obiekty mogą ją promieniować? Jakie wielkości fizyczne charakteryzują falę elektromagnetyczną? **5.** Jak są one powiązane ze sobą? **6.** Jakie właściwości fal elektromagnetycznych ustalono podczas doświadczeń H. Herza?

Ćwiczenie nr 19



- Elektromagnes dźwigu jest zasilany prądem stałym. Określ:
 - w jakim przypadku elektromagnes wytwarza dla operatora dźwigu zarówno elektryczne pole jak i magnetyczne: a) elektromagnes jest nieruchomy; b) elektromagnes przenosi ładunek;
 - w jakich przypadkach elektromagnes promieniuje fale elektromagnetyczne: a) w momencie zamykania obwodu; b) w momencie rozerwania obwodu; c) gdy elektromagnes, poruszając się jednostajnie, przenosi ładunek; d) gdy nieruchomy elektromagnes trzyma ładunek.
- Wypełnij tabelę zakładając, że fale rozchodzą się w powietrzu.

Źródło fali	Długość	Częstotliwość	Prędkość
Przewód linii zasilania		50 Hz	
Radionadajnik	10 cm		
Infraczerwony promiennik	1,5 mkm		

- Według danych rys. 19.6 oblicz długości elektromagnetycznych fal dla światła o fioletowej i czerwonej barwie. Rozpatrz dwa przypadki: światło rozchodzi się a) w próżni; b) w szkle (współczynnik załamania szkła dla światła czerwonego wynosi 1,64, a dla światła fioletowego – 1,67).
- Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się o wynalezieniu radia. Przygotuj krótką informację.
- Łódź kołysz się na falach w morzu. Fale rozchodzą się z prędkością 12 m/s; długość fali 24 m. Oblicz częstotliwość uderzeń fal o łódź. Ile wynosi czas pomiędzy uderzeniami fal?



i

§ 20. SKALA FAL ELEKTROMAGNETYCZNYCH

Sprawną łączność komórkowa, jaskrawe światło słoneczne, szkodliwe promieniowanie radioaktywne, pożyteczny, w niewielkich dawkach, nadfiolet, łagodne ciepło pieca, promieniowanie rentgenowskie, które „widzi na wylot”... Są to fale elektromagnetyczne o wspólnej naturze i rozchodzące się w próżni z jednakową prędkością. Dlaczego ich właściwości są różne? Czy istnieje między nimi zasadnicza różnica? Jak powstają różne rodzaje fal elektromagnetycznych i gdzie je można zastosowywać? Spróbujmy wyjaśnić.

1

Rozpatrzmy skalę fal elektromagnetycznych

Różne rodzaje fal elektromagnetycznych przede wszystkim różnią się częstotliwością, a więc i długością fali. Właśnie różnicą częstotliwości tłumaczy się to, że niektóre właściwości fal elektromagnetycznych poważnie różnią się. Jeżeli

rozmieścimy wszystkie znane nam fale elektromagnetyczne w kolejności zwiększania się ich częstotliwości (rys. 20.1), to zobaczymy, że częstotliwości mogą różnić się ponad 10^{16} razy. Jest to wielka różnica! Dlatego łatwo jest wyobrazić sobie, jak bardzo mogą się różnić również i właściwości fal elektromagnetycznych.

Przedstawiona na rys. 20.1 skala fal elektromagnetycznych jest podzielona na odcinki, które odpowiadają różnym zakresom długości i częstotliwości fal elektromagnetycznych (różnym rodzajom fal elektromagnetycznych). Fale jednego zakresu jednakowo promieniują i mają jednakowe właściwości.

Fale radiowe – od długich, o długości powyżej 10 km, do ultrakrótkich i mikrofal o długości mniejszej niż 0,1 mm – wytwarzane są przez zmienny prąd elektryczny.

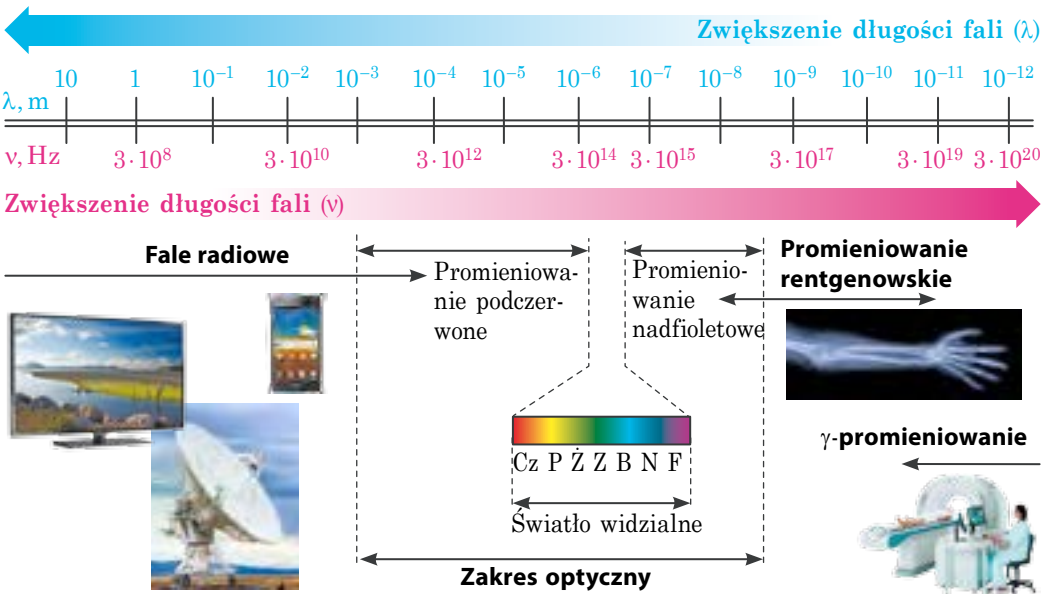
Elektromagnetyczne fale zakresu optycznego są promieniowane przez wzbudzone atomy. W tym zakresie rozróżniamy:

- *podczerwone (cieplne) promieniowanie* (długość fali wynosi od 780 nm do 1–2 mm);
- *światło widzialne* (długość fali – 400–780 nm);
- *promieniowanie nadfioletowe* (długość fali 10–400 nm).

Promieniowanie rentgenowskie (długość fali – 0,01–10 nm) powstaje na skutek szybkiego (uderzeniowego) hamowania elektronów, a także w wyniku procesów zachodzących w środku elektronowych powłok atomów.

γ -promieniowanie (długość fali mniejsza niż 0,05 nm) jest promieniowane wzbudzonymi jądrami atomowymi podczas reakcji jądrowych, radioaktywnych przemian jąder atomowych i przemian cząstek elementarnych.

? Rozpatrzmy skalę fal elektromagnetycznych (patrz rys. 20.1). Jak uważasz, dlaczego niektóre jej odcinki należą jednocześnie do dwóch różnych rodzajów fal elektromagnetycznych?



Rys. 20.1. Skala (widmo) fal elektromagnetycznych – ciągła kolejność częstotliwości i długości istniejących w przyrodzie fal elektromagnetycznych



Rys. 20.2. Mikrofalówka – urządzenie, w którym są wykorzystywane fale radiowe o wysokiej częstotliwości (zwykle $2,45 \cdot 10^9$ Hz)

Z całego widma najbardziej bliskie dla organizmu człowieka jest *promieniowanie podczerwone*. Fale o długości w przybliżeniu od 7 do 14 μm odpowiadają promieniowaniu ciała człowieka i działają na jego organizm bardzo pożytecznie. Najbardziej znane naturalne źródło takich fal na Ziemi – to Słońce, a wśród sztucznych – piec, i każdy człowiek z pewnością odczuwa na sobie ich pozytywny wpływ.



2 Zastosowanie fal radiowych

Elektromagnetyczne fale z zakresu *fal radiowych* są stosowane najczęściej: we współczesnej łączności komórkowej, telewizji, radiu, odkrywaniu, rozpoznawaniu i badaniu różnorodnych obiektów (radiolokacja), określaniu miejsca znajdowania się środków transportu i ludzi (GPS – nawigacja, GPS – monitoring i in.), łączności z aparatami kosmicznymi itp. (rys. 20.2).

Fale radiowe zamieniły życie człowieka na bardziej komfortowe. Nie odczuwamy ich, chociaż wpływają one na ogólny stan ludzi i zwierząt, przy czym im krótsze są fale, tym bardziej reagują na nie organizmy.

Potężne fale elektromagnetyczne negatywnie wpływają na człowieka. Medycy twierdzą, że telefon komórkowy – to niebezpieczne źródło promieniowania elektromagnetycznego, tym bardziej, że często znajduje się w pobliżu mózgu i oczu człowieka. Pochłaniając się tkankami mózgu, zmysłami wzroku i słuchu, fale przekazują im energię. Z czasem to może doprowadzić do zniszczenia układu nerwowego, sercowego i endokryologicznego.

3 Badamy promieniowanie podczerwone

Pomiędzy falami radiowymi i światłem widzialnym znajduje się *promieniowanie podczerwone (cieplne)*, które w przemyśle jest wykorzystywane do suszenia farbowanych powierzchni, drewna, ziarna i in. Promienie podczerwone są wykorzystywane również w pilotach, układach automatyki, układach alarmowych. Promienie te nie rozpraszają uwagi człowieka, bo są niewidoczne. Jednak istnieją przyrządy, które mogą wyczuwać i przekształcać niewidoczny podczerwony obraz na widoczny. Na takiej zasadzie działają noktowizory – przyrządy, które „widzą” w ciemności i „odczuwają” fale podczerwone o długości 3–15 μm . Takie fale są promieniowane przez ciała o temperaturze od -50 do 500°C .

Ciekawe jest to, że wiele przedstawicieli fauny ma swoje żywe „przyrządy nocnego widzenia”, które posiadają zdolność przyjmowania promieni podczerwonych (rys. 20.3, 20.4).

4 Dowiadujemy się o promieniowaniu nadfioletowym

Promieniowanie nadfioletowe w odróżnieniu od światła widzialnego i promieniowania podczerwonego *ma wysoką aktywność chemiczną*, dlatego jest stosowane do odkażania powietrza w szpitalach i miejscach dużego skupiska ludzi.

Głównym źródłem naturalnego promieniowania nadfioletowego jest Słońce. Atmosfera Ziemi częściowo zatrzymuje fale nadfioletowe: krótsze niż 290 nm (silny nadfiolet) zatrzymywane są w górnych warstwach atmosfery przez warstwę ozonową, a o długości 290–400 nm (słaby nadfiolet) są pochłaniane przez dwutlenek węgla, parę wodną i ozon.

W dużych dawkach promieniowanie nadfioletowe jest szkodliwe dla człowieka (rys. 20.5). W celu zmniejszenia ryzyka oparzenia promieniami słonecznymi i powstawania chorób skórnych lekarze radzą nie przebywać latem na słońcu pomiędzy 10 a 13 godziną, gdy promieniowanie słoneczne jest najbardziej intensywne. Jednocześnie w małych ilościach nadfiolet dobrze wpływa na człowieka, przeciż sprzyja wyrobieniu witaminy D, wzmacnia układ odpornościowy, stymuluje szereg ważnych życiowych funkcji w organizmie.

5 Rentgenowskie i γ -promieniowanie

Rentgenowskie promieniowanie najbardziej jest stosowane w medycynie, o ile *może ono przechodzić przez nieprzeźroczyste przedmioty* (na przykład ciało człowieka). Tkanka kostna jest mniej przeźroczysta dla promieniowania rentgenowskiego, niż inne tkanki organizmu człowieka, dlatego kości są wyraźnie widoczne na zdjęciach rentgenowskich. Zdjęcia rentgenowskie również są wykorzystywane w przemyśle (do wykrywania defektów), w chemii (do analizy roztworów), w fizyce (do badania budowy kryształów).

Promieniowanie rentgenowskie niszczy komórki organizmu, dlatego stosować go należy bardzo ostrożnie.

γ -promieniowanie ma jeszcze większą zdolność przenikającą, stosuje się je w defektoskopii (w celu wykrycia defektów wewnątrz detali); rolnictwie i przemyśle spożywczym (dla sterylizacji



Rys. 20.3. Głębinyne kałamarnice oprócz zwykłych oczu posiadają jeszcze termoskopiczne, które znajdują się na ogonie i pochłaniają promienie podczerwone



Rys. 20.4. Grzechotnik amerykański posiada bardzo czuły termolokator, znajdujący się w dołku pomiędzy oczami



Rys. 20.5. Promieniowanie nadfioletowe jest bardzo niebezpieczne dla siatkówki oka, dlatego wysoko w górach, gdzie promieniowanie nadfioletowe jest najmniej pochłaniane przez atmosferę, należy koniecznie chronić oczy

produktów). Na organizm człowieka γ -promieniowanie wywiera bardzo szkodliwy wpływ, jednocześnie precyzyjnie skierowane i dawkowane γ -promieniowanie jest stosowane przy leczeniu chorób onkologicznych do niszczenia komórek raka (terapia promieniowa).



Podsumowanie

Widmo (skala) fal elektromagnetycznych jest to ciągła kolejność częstotliwości i długości fal elektromagnetycznych istniejących w przyrodzie.

Według sposobu promieniowania rozróżniamy: fale radiowe (wytwarzane przez zmienny prąd elektryczny); elektromagnetyczne fale optycznego zakresu (podczerwone promieniowanie, światło widzialne, nadfioletowe promieniowanie; promieniowane przez wzbudzone atomy); promieniowanie rentgenowskie, wytwarzane podczas szybkiego hamowania elektronów; γ -promieniowanie wysyłane przez wzbudzone jądra atomów. Fale elektromagnetyczne różnych zakresów mają różne właściwości, dlatego mają różny wpływ na człowieka i mają różne zastosowanie.

Wszystkie rodzaje fal elektromagnetycznych rozchodzą się w próżni z jednakową prędkością. Wraz ze zwiększeniem częstotliwości fali (ze zmniejszeniem jej długości) zwiększa się zdolność przenikająca i aktywność chemiczna promieniowania elektromagnetycznego.



Pytania kontrolne

1. Podaj rodzaje fal elektromagnetycznych. **2.** Co wspólnego mają wszystkie fale elektromagnetyczne? Czym się różnią? **3.** W jaki sposób zmieniają się właściwości fal elektromagnetycznych wraz ze zwiększeniem ich częstotliwości? **4.** Podaj przykłady stosowania różnych rodzajów fal elektromagnetycznych. **5.** Jak można zabezpieczyć się przed negatywnym wpływem na zdrowie człowieka niektórych rodzajów promieniowania elektromagnetycznego?



Ćwiczenie nr 20

- Rozmieść fale elektromagnetyczne w kolejności zwiększania się ich długości: 1) światło widzialne; 2) promieniowanie nadfioletowe; 3) fale radiowe; 4) promieniowanie rentgenowskie.
- Ustal zależność między źródłem i falami elektromagnetycznymi, które ono promieniuje.

1 Telefon komórkowy	A γ -promieniowanie
2 Kaloryfer	B Promieniowanie rentgenowskie
3 Robaczek świętojański	C Promieniowanie podczerwone
4 Próbkę radioaktywna	D Światło widzialne
	E Fale radiowe
- Długość fali światła żółtego w próżni wynosi – 570 nm. Jaka jest częstotliwość tej fali?
- Oblicz długość fali elektromagnetycznej w próżni, jeżeli jej częstotliwość równa się $3 \cdot 10^{12}$ Hz? Do jakiego zakresu należy ta fala?
- Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się o historii wynalezienia dowolnego urządzenia, podstawą działania którego jest promieniowanie elektromagnetyczne.
- Odległość do przeszkody odbijającej dźwięk wynosi 68 m. Po jakim czasie człowiek usłyszy echo, jeżeli fala dźwiękowa rozchodzi się w powietrzu?



§ 21. FIZYCZNE PODSTAWY WSPÓŁCZESNEJ ŁĄCZNOŚCI BEZPRZEWODOWEJ. RADIOLOKACJA

Zwracając się do skali fal elektromagnetycznych (patrz rys. 20.1) zobaczymy, że największa jej część należy do fal radiowych. O ile częstotliwości tych fal bardzo różnią się, to różnią się także ich właściwości. Bardziej dokładnie o różnych rodzajach fal radiowych dowiesz się w starszych klasach, obecnie zatrzymamy się tylko na zastosowaniu *ultrakrótkich fal radiowych* (o długości od kilku centymetrów do kilku metrów).

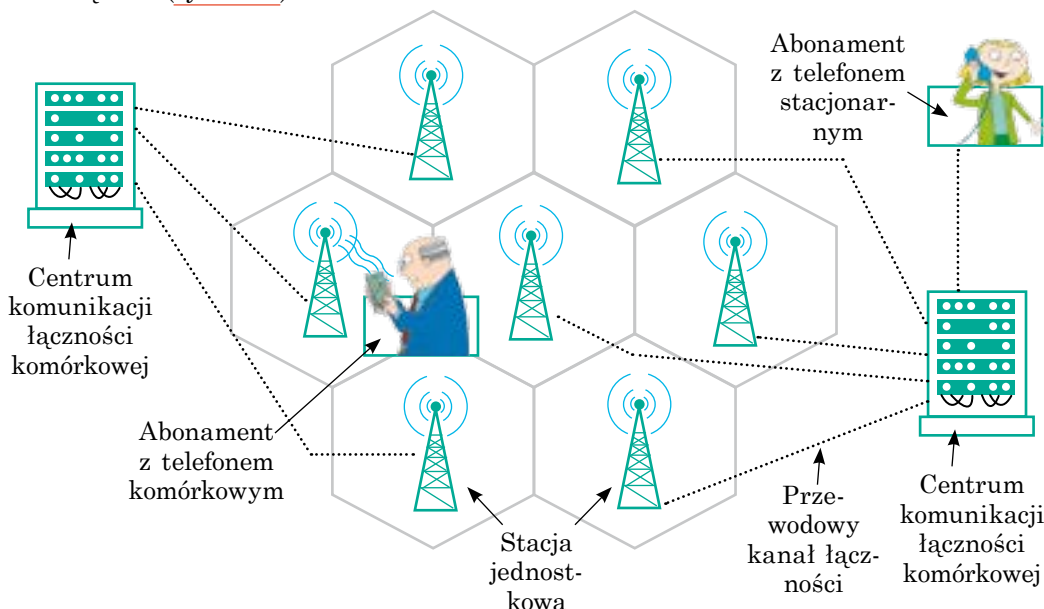
1 Wyjaśniamy osobiwości rozchodzenia się ultrakrótkich fal radiowych

Według swoich właściwości ultrakrótkie fale radiowe są bardzo podobne do promieni świetlnych: rozchodzą się w granicach zasięgu i można je wysyłać wąskimi wiązkami. Właśnie te właściwości zapewniają szerokie zastosowanie ultrakrótkich fal radiowych w radiolokacji, łączności bezprzewodowej, telewizji satelitarnej. Wąski promień mniej rozprasza się (to pozwala wykorzystywać słabsze nadajniki) i łatwiej go odbierać.

2 Dowiadujemy się, dlaczego radiołączność komórkowa nazywa się komórkową

Łączność komórkowa – jeden z rodzajów komórkowej radiołączności, podstawą której jest sieć komórkowa.

Dla łączności komórkowej wykorzystywane są fale elektromagnetyczne o częstotliwości od 450 do 3000 MHz. Główną osobiwością takiej łączności jest to, że ogólna strefa zasięgu dzieli się na niewielkie części – *komórki* (nazywamy je tak, ponieważ mają kształt sześciokąta). Każda komórka ma pole około 25 km² i jest obsługiwana przez osobną stację jednostkową. Komórki, częściowo nakładając się, tworzą sieć (rys. 21.1).



Rys. 21.1. Podstawowe części sieci komórkowej: telefony komórkowe, stacje jednostkowe, centrum komunikacji

Każdy z was umie korzystać z telefonu komórkowego. Wyjaśnijmy, jak zachodzi łączność w takim telefonie. Gdy włączasz telefon, zaczyna on „przesłuchiwać” eter i szukać sygnału *stacji jednostkowej* tej komórki, gdzie jesteś w danym momencie. Następnie telefon promieniuje sygnał radiowy – wysyła do stacji swój kod. Wtedy telefon i stacja podtrzymują stały radiokontakt, periodycznie wymieniając się sygnałami.

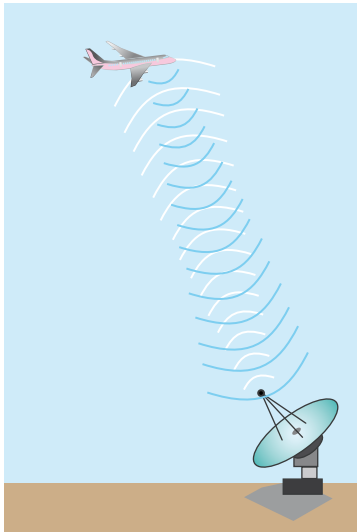
Jednak nie zawsze znajdujesz się w tym samym miejscu. Wtedy telefon wychodzi z zasięgu działania stacji jednostkowej i łączy się z inną stacją. Jeżeli telefon nie może „odnaleźć” najbliższej stacji i przekazać jej swój kod, łączność przerwie się i na monitorze wyświetli się informacja, że nie ma zasięgu.

Opisanymi procesami „kierują” *centra komunikacji*, połączone ze stacjami jednostkowymi za pomocą przewodowych kanałów łączności. Właśnie centrum komunikacji ciągle „szuka” miejsce znajdowania się twego telefonu komórkowego. „Przekazuje” cię jak pałeczkę sztafetową od jednej stacji jednostkowej do innej, gdy ty „podróżujesz” z komórki do komórki. Właśnie przez centra komunikacji odbywa się wyjście na inne sieci: możesz zatelefonować do kolegi, telefon którego jest obsługiwany przez innego operatora, zatelefonować na telefon stacjonarny, skorzystać z Internetu itp.

3 Badamy radiolokację

Właściwość odbijania się fal radiowych od metali ustalił H. Herz. Z czasem zostało wyjaśnione, że fale elektromagnetyczne odbijają się od dowolnych ciał, przy czym im lepiej ciało przeprowadza prąd elektryczny, tym większa będzie energia odbitej fali. *Odbijanie się fal radiowych jest podstawą radiolokacji.*

Radiolokacja – sposób wykrywania, rozpoznawania i określania miejsca znajdowania się obiektów za pomocą fal radiowych.



Rys. 21.2. Zasada działania radaru

Urządzenie radiolokacyjne – **radiolokator (radar)** – zabezpiecza promieniowanie fal radiowych i odbieranie fal radiowych odbitych od obiektu (rys. 21.2).

Jeżeli będziemy promieniować fale radiowe we wszystkich kierunkach lub szeroką wiązką, to będą one odbijać się jednocześnie od wielu obiektów i niemożliwie będzie rozpoznać, gdzie znajduje się badany obiekt, na przykład samolot. Dlatego radar wysyła fale *w określonym kierunku i wąską wiązką*, a wykrywanie odbitego sygnału świadczy o tym, że badany obiekt znajduje się w kierunku rozchodzenia się fal radiowych (rys. 21.3).

Rozróżniamy dwa podstawowe tryby pracy radaru. *W trybie poszukiwania (skanowania)* antena radaru ciągle skanuje przestrzeń (na przykład obraca się poziomo i jednocześnie porusza się do góry – w dół). *W trybie obserwacji* antena ciągle jest skierowana na wybrany obiekt.

4 Dowiadujemy się, jak działa radar

Sygnał radiowy, wysyłany przez radar jest krótkotrwały (o trwałości miliony części sekundy), jednak o bardzo potężnym impulsie. Jak tylko impuls został wysłany, antena radaru automatycznie przełącza się na odbiór: radar „słucha” eteru – czeka na odbity sygnał. Odbiornik jest bardzo czuły (odbity sygnał radiowy jest dość słaby), dlatego podczas promieniowania impulsu jest odłączony, inaczej aparatura przestanie działać.

Przez pewien okres czasu (znacznie większy od trwałości impulsu) antena ponownie przełącza się na nadajnik radiowy i radar wysyła następny impuls.

Odległość s do obiektu wyznacza się według czasu t przepływu impulsu radiowego do celu i z powrotem. Prędkość rozchodzenia się fal elektromagnetycznych w powietrzu prawie równa jest prędkości rozchodzenia się światła w próżni ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s), dlatego:

$$s = \frac{c \cdot t}{2}$$

Odcinek czasu t jest bardzo mały. Jeżeli odległość do obiektu jest równa 120 km, to odbity sygnał radiowy wróci po 0,8 ms $\left(t = \frac{2s}{c}\right)$.

5 Stosujemy radiolokację

Radary początkowo były stworzone wyłącznie dla uzbrojenia armii – do wykrywania samolotów przeciwnika (rys. 21.4).

Z czasem radiolokacja znalazła szerokie zastosowanie w innych dziedzinach. Na współczesnych *powietrznych, morskich i oceanicznych statkach* obowiązkowo znajdują się radary. Za pomocą radarów nawigator statku wyszukuje możliwe wolne przejścia pomiędzy chmurami lub lodowcami, co pomaga uniknąć zderzenia z innymi statkami w złych warunkach atmosferycznych, wytyczyć kurs, określić swoją lokalizację) (rys. 21.5).

Stacje radiolokacyjne na lotniskach pomagają w bezpiecznym lądowaniu statków powietrznych, a stacje znajdujące się wzdłuż wybrzeży zabezpieczają bezpieczny przyływ statków do portu.



Rys. 21.3. Promieniowanie wąskiej skierowanej wiązki ultrakrótkich fal radiowych i odbieranie odbitego sygnału zabezpiecza paraboliczna antena radaru



Rys. 21.4. Współczesny „latający” radar może wykryć samolot przeciwnika na odległości 540 km



Rys. 21.5. Radar współczesnego morskiego okrętu

Radiolokacja jest wykorzystywana w *badaniach naukowych, metrologii, rolnictwie oraz leśnictwie*. Pomaga w układaniu map rzeźby powierzchni Ziemi, w badaniu gęstości roślinności, wykrywaniu pożarów leśnych, wyznaczaniu składu gleby itp.

Ważną rolę odgrywa radiolokacja w *badaniach kosmicznych*. Startowanie i lądowanie aparatów kosmicznych byłoby niemożliwe bez wykorzystywania radarów. Za pomocą radiolokacji sprecyzowano odległości do Księżyca, Wenus, Marsa. Radary, znajdujące się na sztucznych satelitach Wenus, pomogły przeniknąć przez grubą warstwę chmur planety i określić jej rzeźbę.



Podsumowanie

Ostatnio fale ultrakrótkiego zasięgu są wykorzystywane na szeroką skalę: za pomocą specjalnych anten można je skierować wąską wiązką, która mniej rozprasza się, co pozwoli wykorzystywać słabsze nadajniki. Ultrakrótkie fale radiowe są wykorzystywane w łączności komórkowej, telewizji satelitarnej, radiolokacji.

Łączność komórkowa – jeden z rodzajów łączności komórkowej, podstawą której jest sieć komórkowa.

Radiolokacja – wykrywanie, rozpoznawanie i określanie za pomocą fal radiowych miejsca znajdowania się obiektu. Radar wytwarza wąską skierowaną wiązkę fal radiowych i odbiera fale radiowe odbite od obiektu. Odległość do obiektu wyznacza się według czasu rozchodzenia się impulsu radiowego do obiektu i z po-

wrotom: $s = \frac{ct}{2}$.



Pytania kontrolne

1. Podaj zalety ultrakrótkich fal radiowych. **2.** Jaką łączność nazywamy łącznością komórkową? Jak ona działa? **3.** Co nazywamy radiolokacją? Co jest podstawą jej działania? **4.** Opisz zasadę pracy radaru. **5.** Jak za pomocą radiolokacji można określić lokalizację obiektu (odległość, kierunek)? **6.** Podaj przykłady stosowania radiolokacji.



Ćwiczenie nr 21

- Na jakiej odległości znaleziono obiekt, jeżeli odbity sygnał wrócił po 20 μs od momentu wysłania?
- Radar pracuje na częstotliwości $6 \cdot 10^8$ Hz. Falę radiową o jakiej długości on promieniuje?
- Osobliwości ultrakrótkich fal radiowych (prawie nie odbijają się od jonosfery, ich energia znacznie traci się tylko w pobliżu powierzchni Ziemi, można je skierować wąską wiązką) umożliwiają zastosowanie ich w telewizji satelitarnej. Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się jak pracuje łączność satelitarna.
- Zastosowanie stacji radiolokacyjnych do wykrywania wojskowych samolotów i okrętów spowodowało aktywne poszukiwanie sposobów zmniejszenia wykrywalności techniki wojskowej. Tak pojawiła się *stels-technologia*. Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się, czy uda się chociażby częściowo „schować” technikę wojskową. Jeżeli tak, to w jaki sposób?

Sondowanie Ziemi na odległość

Sondowanie Ziemi na odległość – jest to obserwacja i badanie powierzchni Ziemi za pomocą przyrządów, znajdujących się na dużej odległości od niej (na przykład, na satelitach lub samolotach). Gdzie jest wykorzystywane?

Z punktu widzenia techniki, najprostsza dziedzina zastosowania takiego badania – to prognoza pogody. Jednocześnie dane te są wykorzystywane prawie przez wszystkich.

Zazwyczaj telewizyjnym prognozom pogody towarzyszą zdjęcia z kosmosu (rys. 1). Jednak wyraźne obrazki na ekranie telewizora to nie wszystko, co jest potrzebne do prognozy pogody!

Satelita nie może sfotografować całej powierzchni Ziemi za jednym razem. Podobnie jak światła samochodu oświetlają tylko jezdnię, a pobocza zostają w ciemności, tak i satelita, krążąc wokół Ziemi „widzi” tylko określoną jej część. Szerokość tej części może wahać się od 7 do 1500 km i zależy od niezbędnej dokładności obserwacji: im bardziej szczegółowa informacja jest otrzymywana, tym węższa jest część „widoczna” przez Ziemię.

Podczas kolejnego obrotu satelita „ogląda” przyległą część itd. Gdy połączyć otrzymane dane kilku takich części, można otrzymać „obrazek” dużego terenu na przykład, całego naszego państwa (rys. 2).



Rys. 1. Prognoza pogody w telewizji z wykorzystaniem zdjęć, zrobionych przez satelitę

Satelita przekazuje otrzymaną informację na anteny odbiorcze; informacja jest opracowywana i zamieniana na zwykłe zdjęcia. Następnie informacja jest przekazywana meteorologom, którzy łączą dane z kosmosu z wynikami obserwacji na ziemi i na podstawie złożonych matematycznych modeli, prognozują temperaturę i stan atmosfery na dzień, tydzień, miesiąc...

Do badania stanu powierzchni Ziemi jest wykorzystywana cała „armia” satelitów. Większość z nich otrzymuje dane w zakresie widocznych fal elektromagnetycznych, jednak są i takie, które badają powierzchnię wiązkami elektromagnetycznymi w zakresie fal centymetrowych długości, a także fal o większej długości (powyżej 1 m).

Odbieraniem i opracowaniem danych z satelitów zajmują się różne organizacje; w naszym państwie pracę takich organizacji koordynuje *Państwowa kosmiczna agencja Ukrainy*.

Oprócz prognozy pogody dane z kosmosu są wykorzystywane do analizy stanu powłoki śnieżnej, prognozowania powodzi, pożarów, posuchy, trzęsienia ziemi, oceniania przyszłego urodzaju itd. Na przykład, aby zapobiec zderzeniu się z lodowcem, kapitanowie okrętów powinni znać stan kry lodowej. Takie dane również są otrzymywane z kosmosu.



Rys. 2. Mapa Ukrainy widoczna z satelity

PODSUMOWANIE ROZDZIAŁU III „Mechaniczne i elektromagnetyczne fale”

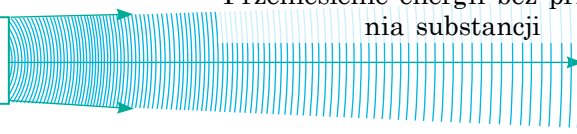
1. Dowiedziałeś się o istnieniu *fal mechanicznych i ich rodzajach*.

FALE MECHANICZNE

Fale mechaniczne – rozchodzenie się fal w ośrodku sprężystym.

Przeniesienie energii bez przeniesienia substancji

Źródło fali –
ciało drgające



Podłużne

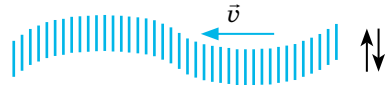
Punkty drgają wzdłuż kierunku rozchodzenia się fali



Ściskanie i rozciąganie ośrodka

Poprzeczne

Punkty drgają prostopadle do kierunku rozchodzenia się fali



Względne zsuwanie się warstw ośrodka

2. Dowiedziałeś się o *wielkościach fizycznych, charakteryzujących fale mechaniczne* i ustaliłeś łączność między nimi.

WIELKOŚCI FIZYCZNE

Częstotliwość fali
[ν]=1 Hz

Równa się częstotliwości drgań źródła fali

Prędkość rozchodzenia się fali
[v]=1 m/s

Zmienia się podczas przejścia z jednego ośrodka do drugiego

Długość fali
[λ]=1 m

$$\text{Wzór fali: } v = \lambda \nu$$

3. Zapoznałeś się z falami dźwiękowymi i wyjaśniłeś, że *fale dźwiękowe są to podłużne fale mechaniczne o określonej częstotliwości*.

FALE DŹWIĘKOWE

Infradźwięk
(1 mHz – 20 Hz)

Wywiera negatywny wpływ na zdrowie człowieka

Dźwięk słyszalny
(20 Hz – 20 kHz)

Wysokość dźwięku jest określana częstotliwością fali dźwiękowej; **głośność** – amplitudą

Ultradźwięk
(powyżej 20 kHz)

Jest wykorzystywany w medycynie, defektoskopii, echolokacji

4. Dowiedziałeś się, że teoretyczne badania *J. Maxwella* i liczne doświadczenia udowodniły *łączność pomiędzy polami elektrycznymi i magnetycznymi*. Te pola tworzą *jedynę pole elektromagnetyczne*.

POLE ELEKTROMAGNETYCZNE

rodzaj materii, za pomocą którego dokonywane jest wzajemne oddziaływanie pomiędzy ciałami naładowanymi i cząsteczkami oraz ciałami namagnesowanymi

Części składowe pola elektromagnetycznego

Pole elektryczne

Pole magnetyczne

Zmienne pole elektryczne wytwarza pole magnetyczne;
zmienne pole magnetyczne wytwarza pole elektryczne

5. Dowiedziałeś się, że w przyrodzie istnieją *fale elektromagnetyczne*, zapoznałeś się z właściwościami fal elektromagnetycznych *różnych zakresów* i niektórymi przykładami ich zastosowania.

FALE ELEKTROMAGNETYCZNE

proces rozchodzenia się w przestrzeni zmiennego pola elektromagnetycznego

Niektóre ogólne właściwości fal elektromagnetycznych

Rozchodzą się w próżni z jednakową prędkością:
 $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

Odbijają się od powierzchni przewodzących, przy tym kąt odbicia jest równy kątowi padania

Załamują się na granicy dwóch dielektryków

Długość i częstotliwość fali w próżni łączy wzór fali: $c = \lambda \nu$

Zwiększa się częstotliwość, zmniejsza się długość fali elektromagnetycznej →

Fale radiowe	Zakres optyczny			Promieniowanie rentgenowskie	γ-promieniowanie
	promieniowanie podczerwone	światło widzialne	promieniowanie nadfioletowe		

Zwiększa się zdolność przenikająca i aktywność chemiczna →

6. Wyjaśniłeś, że zdolność *ultrakrótkich fal radiowych* do rozchodzenia się wąską wiązką i odbicie od przeszkód są podstawą **radiolokacji** – *wykrywanie, rozpoznawanie i określanie miejsca znajdowania się obiektu za pomocą fal radiowych*. Odległość s do obiektu jest wyznaczana według czasu t przejścia impulsu radiowego do obiektu i z powrotem:

$$s = \frac{ct}{2}$$

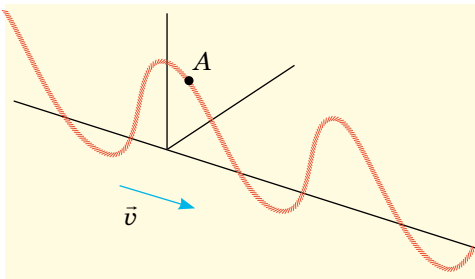
ZADANIA DO ROZDZIAŁU III

„Fale mechaniczne i elektromagnetyczne”

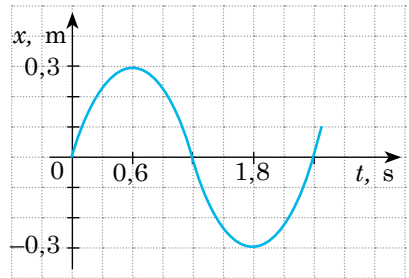
Zadania 1–8 zawierają tylko jedną prawidłową odpowiedź.

- (1 punkt) Jaka właściwość fal mechanicznych jest podstawą echolokacji?
 - przeniesienie energii bez przeniesienia substancji;
 - odbicie fali;
 - zależność długości fali od ośrodka, w którym ona rozchodzi się;
 - zmiana amplitudy fali ze zwiększeniem odległości do źródła.
- (1 punkt) W jakim ośrodku rozchodzą się poprzeczne fale mechaniczne?
 - w cieczy;
 - w próżni;
 - w dowolnym ośrodku;
 - w ciele stałym.
- (1 punkt) Jakie twierdzenie jest nieprawidłowe?
 - podłużne fale mechaniczne nie rozchodzą się w ciałach stałych;
 - fale mechaniczne nie rozchodzą się w próżni;
 - światło jest to fala elektromagnetyczna;
 - dźwięk jest falą mechaniczną.
- (1 punkt) Jaki obiekt może być źródłem fali mechanicznej?
 - cząstka naładowana, poruszająca się ruchem przyspieszonym;
 - ciało drgające;
 - ciało poruszające się ruchem jednostajnym;
 - nieruchome namagnesowane ciało.
- (1 punkt) Trwały magnes leży na siedzeniu w tramwaju, poruszającym się jednostajnie. Względem których obserwatorów istnieje tylko magnetyczna część składowa pola elektromagnetycznego?
 - konduktor, który idzie wzdłuż przejścia;
 - pasażer samochodu, poruszającego się wstecz;
 - pkieszy, stojący obok drogi;
 - kierowca autobusu, poruszającego się za tramwajem z taką samą prędkością.
- (2 punkty) Gdy fala przechodzi do innego ośrodka, to *nie* zmienia się:
 - amplituda fali;
 - częstotliwość fali;
 - długość fali;
 - prędkość rozchodzenia się fali.
- (2 punkty) Któremu ze zjawisk nie towarzyszy pojawienie się fal mechanicznych?
 - tęcza;
 - błyskawica;
 - trzęsienie ziemi;
 - wiatr.
- (2 punkty) Na odległości 170 m od wieżowca stoi człowiek. Z jego rąk na chodnik wypada przedmiot metalowy. Za jaki czas od uderzenia człowiek usłyszy echo?
 - 0,5 s;
 - 1 s;
 - 2 s;
 - 4 s.
- (2 punkty) Na jakiej odległości znajduje się obiekt, jeżeli odbity od niego sygnał radiowy powraca po 2 μ s od wysłania?

10. (3 punkty) Ustal zależność pomiędzy odbiornikiem i rodzajem fal elektromagnetycznych, które on odbiera.
- | | |
|----------------------|------------------------------|
| 1 Noktowizor | A γ -promienie |
| 2 Antena satelitarna | B Fale radiowe |
| 3 Oko człowieka | C Promieniowanie podczerwone |
| | D Światło widzialne |
11. (3 punkty) Wzdłuż naciągniętego sznura rozchodzi się fala (rys. 1). W jakim kierunku porusza się punkt A w podanym na rysunku momencie czasu?
12. (3 punkty) Prędkość ruchu kuli równa się 680 m/s. O ile wcześniej kula trafi do celu, znajdującego się na odległości 1360 m, niż do celu dotrze dźwięk wystrzału?
13. (3 punkty) Pszczoła lecąca po pyłek, wykonuje średnio 180 ruchów skrzydełkami w ciągu sekundy. Gdy ta sama pszczoła wraca do ula, ilość jej ruchów w ciągu sekundy wzrasta do 280. Jak to wpływa na dźwięk, który słyszymy?
14. (4 punkty) Jaka jest długość fali dźwiękowej w powietrzu, jeżeli źródło dźwięku wykonuje 5100 drgań w ciągu minuty? Jaka jest długość tej fali w wodzie?
15. (4 punkty) Według wykresu drgań źródła fali mechanicznej (rys. 2) wyznacz okres drgań i częstotliwość fali. Jaka jest długość fali, jeżeli rozchodzi się ona z prędkością 20 m/s?
16. (4 punkty) Fale radiowe o długości 6 m przechodzą z próżni do ośrodka, w którym prędkość ich rozchodzenia się jest 1,5 razy mniejsza niż w próżni. Oblicz częstotliwość i długość fali radiowej.



Rys. 1



Rys. 2

Sprawdź swoje odpowiedzi na pytania z podanymi na końcu podręcznika. Oznacz zadania, na które odpowiedziałeś prawidłowo i wyznacz sumę punktów, następnie podziel tę sumę przez trzy. Otrzymany wynik będzie odpowiadać poziomowi twojej wiedzy.



Dodatkowe zadania testowe, sprawdzane przez komputer znajdziesz na stronie internetowej „Nauczanie interaktywne”.

Proponowane tematy projektów

1. Dźwięki w życiu człowieka.
2. Zastosowanie infradźwięków i ultradźwięków w technice.
3. Wibracje i hałasy oraz ich wpływ na organizmy.
4. Fale elektromagnetyczne w przyrodzie i technice.
5. Wpływ promieniowania elektromagnetycznego na organizm człowieka.
6. Rodzaje hałasu. Pomiar poziomu hałasu. Badanie wpływu hałasu na organizmy.
7. Instrumenty muzyczne jako źródła różnych fal dźwiękowych.

Tematy referatów

1. Mechanizm powstania fal na powierzchni wody.
2. Zadziwiające echo.
3. Czym są rezonatory akustyczne i gdzie są stosowane.
4. Zjawisko Dopplera i jego wykorzystanie do kontroli prędkości ruchu środków transportu.
5. Czym i jak różnią się głosy męskie, żeńskie i dziecięce.
6. Sposoby ochrony przed hałasem w dużych miastach.
7. Ultradźwiękowa kawitacja.
8. Zastosowanie ultradźwięku w technice.
9. Powstanie infradźwięku w oceanie.
10. Wizualizacja drgań dźwiękowych.
11. Fale radiowe w naszym życiu.
12. Historia wynalezienia radia.
13. Elektromagnetyczny smog.
14. Wykorzystanie radiolokacji w astronomii.
15. Efekt Dopplera w astronomii lub jak udowodniono, że galaktyki rozlatują się.
16. Działanie promieniowania nadfioletowego na organizm człowieka.
17. W. Rentgen czy I. Puluj: kto pierwszy odkrył X-promienie?
18. Historia badania zjawisk świetlnych.

Tematy badań eksperymentalnych

1. Sporządzenie różnorodnych źródeł dźwięku i badanie ich cech akustycznych.
2. Wyjaśnienie zależności wysokości dźwięku od częstotliwości drgań źródła fal dźwiękowych.
3. Badanie procesu odbicia, załamania i nakładania się fal mechanicznych na powierzchni wody.

ROZDZIAŁ IV

FIZYKA ATOMU I JĄDRA ATOMOWEGO. PODSTAWY FIZYCZNE ENERGETYKI ATOMOWEJ

- Już wiesz, jak pracuje silnik cieplny, dowiesz się jak pracuje reaktor jądrowy
- Słyszałeś, że radiacja jest niebezpieczna, dowiesz się o jej właściwościach leczniczych
- Wiesz, że życie na Ziemi nie jest możliwe bez energii słonecznej, dowiesz się, skąd Słońce ją „pobiera”
- Wiesz, że równoimienne ładunki odpychają się. Dowiesz się dlaczego przyciągają się
- Umiesz obliczyć, ile ciepła wydziela się podczas spalania 1 kg drewna, nauczysz się obliczać ilość ciepła, która jest wydzielana podczas „spalania” 1 kg uranu



§ 22. WSPÓŁCZESNY MODEL ATOMU. PROTONOWO-NEUTRONOWY MODEL JĄDRA ATOMU. SIŁY JĄDROWE. IZOTOPY

Historia nauki fizycznej liczy sobie prawie 2500 lat. Lecz dopiero od zeszłego wieku fizycy pracują nie tylko jako naukowcy, ale też są konsultantami rządów. Ilość specjalistów fizyków zwiększyła się stukrotnie. Stworzono wielkie przedsiębiorstwa produkujące przyrządy i urządzenia fizyczne (rys. 22.1). Jest to możliwe dzięki sukcesom *fizyki jądrowej, która bada budowę i właściwości jąder atomowych, zjawiska, które w nich zachodzą i mechanizmy przemiany jąder atomowych*. W tym paragrafie bardziej szczegółowo dowiesz się o atomie i jądrze atomowym.

1

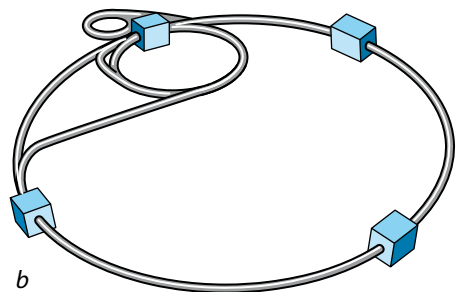
Dowiadujemy się o doświadczeniu E. Rutherforda

Doświadczenia przeprowadzane przez uczonych w XIX wieku udowadniają, że atom ma złożoną budowę. Fizycy dowiedzieli się, że atom składa się z elektronu o ujemnym ładunku i jest neutralny.

W latach 1909–1911 doświadczony badacz *Hans Geiger* (1882–1945) i młody aspirant *Ernest Marsden* (1889–1970) pod kierownictwem fizyka angielskiego *Ernesta Rutherforda* (rys. 22.2) wykonali szereg doświadczeń, które wyjaśniały budowę atomu. W doświadczeniach wykorzystano substancję, z której z wielką prędkością wylatywały dodatnio naładowane cząstki – tzn. *α -cząstki (alfa-cząstki)*.

Wąską wiązkę α -cząstek z pojemnika ołowianego skierowywano na cienką złotą folię, która trafiała na ekran pokryty warstwą specjalnej substancji (rys. 22.3). Gdy α -cząstka trafiała w taki ekran, w tym miejscu obserwowano słaby błysk światła. Uczni obserwowali te błyski za pomocą mikroskopu i rejestrowali każde trafianie α -cząstek w ekran.

W wyniku doświadczeń uczeni przekonali się, że większość α -cząstek przenika przez złotą folię, nie zmieniając kierunku ruchu, a część z nich odchyła się od początkowego toru. Lecz około 20 000 cząstek odbija się od folii niby trafiając na jakąś przeszkodę (rys. 22.4).



Rys. 22.1. Największe na dzień dzisiejszy urządzenie badawcze – to przyspieszacz cząstek naładowanych, którego pierwsze uruchomienie odbyło się w 2008 r.: *a* – wygląd wewnętrzny; *b* – wygląd schematyczny. Zadziwiający wymiary tego przyspieszacza: cząstki elementarne rozpędzają się w dużym pierścieniu o długości 26 km. Takie чудо techniki zostało zbudowane wspólnymi siłami wielu państw Europy

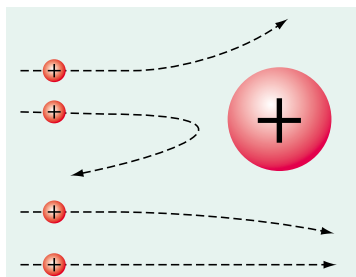
Wiadomo, że E. Rutherford nie mógł widzieć wewnętrznej budowy atomu. Dlatego rozważał w następujący sposób: jeżeli dodatni ładunek i masa równomiernie rozmieszczają się po całej objętości atomu (takie wyobrażenie o budowie atomu istniało na ten czas), to wszystkie α -cząstki powinny przelecieć przez folię prawie nie odchylając się, ponieważ ich energia jest ogromna (to tak jakby kopać piłką w pajęczynę).

Jeżeli dodatni ładunek i masa skupiają się w niewielkiej objętości w środku atomu, a przestrzeń ich otaczająca jest „pustką”, to bombardowanie α -cząstkami będzie przypominało rzucanie piłeczką w puszkę metalową umocowaną na patyku. Tylko w nielicznych przypadkach piłeczka odskoczy od puszki i wróci z powrotem do rzucającego, a w reszcie przypadków przeleci przez cel.

Prawdopodobnie drugi wariant lepiej tłumaczy wyniki doświadczenia. Zatem po zakończeniu doświadczeń E. Rutherford w 1911 roku zaproponował *jądrowy model budowy atomu*: atom składa się z dodatnio naładowanego jądra, w otoczeniu którego znajdują się ujemnie naładowane cząstki – elektrony; masa atomu jest skupiona w jądrze.

? Jak uważasz, czy w doświadczeniu E. Rutherforda α -cząstka odskoczy, jeżeli jądro miałoby ujemny ładunek? jeżeli masa jądra byłaby o wiele mniejsza od masy α -cząstki?

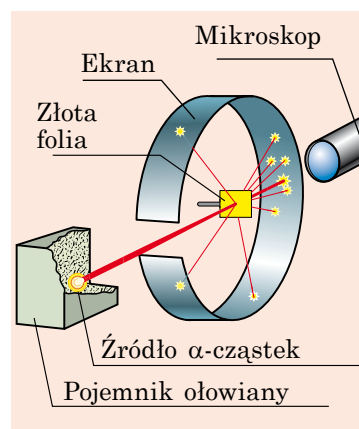
Nie zważając na to, że w jądrze skupiona jest prawie cała masa atomu, rozmiary jądra w porównaniu z nim są na dużo mniejsze (średnica atomu wynosi ok. 10^{-10} m, a jądra – 10^{-15} m). Dla porównania wyobraźmy sobie, że atom zwiększono do rozmiarów dużego boiska. Przy tym rozmiary



Rys. 22.4. Tory α -cząstek, które przelatują obok jądra Au-¹⁹⁷. Im bliżej α -cząstka przelatuje od jądra, tym większa jest siła odpychania działająca na nią i tym więcej cząstka odchyła się od początkowego toru



Rys. 22.2. Ernest Rutherford (1871–1937) – wybitny fizyk angielski. Twórca nauki o promieniotwórczości i budowie atomu, wykonawca pierwszej reakcji jądrowej. Zdobywca nagrody Nobla (1908), członek wszystkich światowych akademii nauk



Rys. 22.3. Schemat doświadczenia rozpraszania α -cząstek (doświadczenie E. Rutherforda)

jądra takiego atomu też powinny się zwiększyć. O ile? Obliczenia wskazują, że średnica jądra atomu będzie dorównywać rozmiarom mrówki, która porusza się po boisku.

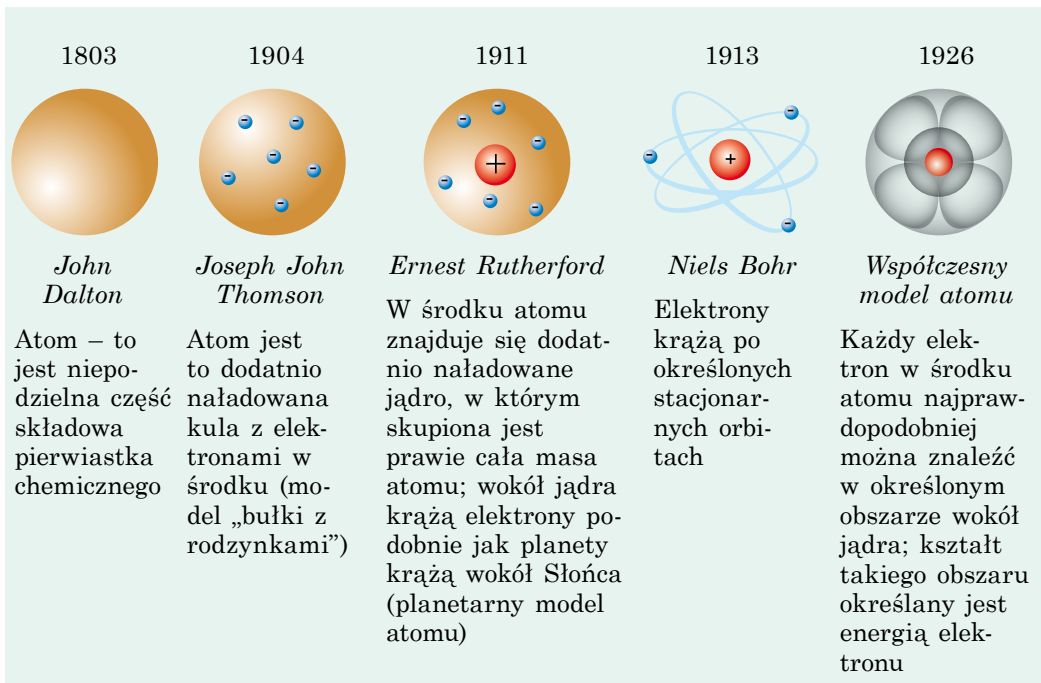
Jądrowy model atomu Rutherforda został dalej rozwinięty w pracach wybitnego duńskiego fizyka *Nielsa Bohra* (1885–1962). Właśnie ten model jądrowy jest podstawą współczesnego wyobrażenia o budowie atomu (rys. 22.5).

2 Przypomnijmy budowę jądra atomowego

Z nauki fizyki i chemii dobrze wiesz, że jądro atomowe składa się z cząstek dwóch rodzajów: **protonów** o ładunku dodatnim i neutronów, które nie mają ładunku. Masa protonu w przybliżeniu równa się masie **neutronu** i jest prawie 2000 razy większa od masy elektronu. Protony i neutrony nazywamy **nu-kleonami**. Sumaryczną ilość protonów i neutronów nazywamy **masą atomową** i oznaczamy symbolem A .

Atom jest elektrycznie neutralny: sumaryczny ładunek protonów w jądrze jest równy sumarycznemu ładunkowi elektronów znajdujących się wokół jądra. Tak jak ładunek protonu, co do wartości bezwzględnej jest równy ładunkowi elektronu, zrozumiałe jest, że *w atomie ilość protonów jest równa ilości elektronów*.

Ilość protonów w jądrze nazywamy **liczbą atomową** i oznaczamy symbolem Z . Numer porządkowy pierwiastka w Układzie Okresowym pierwiastków chemicznych D. Mendelejewa odpowiada *ilości protonów w jądrze* (liczbie protonowej).



Rys. 22.5. „Ewolucja” modelu atomu

Znając liczbę atomową (Z) i masę atomową (A) jądra pierwiastka chemicznego, można obliczyć *ilość neutronów* (N) w tym jądrze: $N = A - Z$.

Rodzaj atomu, który charakteryzuje się określoną wartością liczby i masy atomowej, nazywamy **nuklidem** (rys. 22.6).

? Ile protonów i neutronów zawiera jądro nuklidu Aluminium (${}_{13}^{27}\text{Al}$)?

Jeżeli różne nuklidy mają jednakową liczbę atomową, to ich właściwości chemiczne będą jednakowe – nuklidy należą jednemu pierwiastkowi chemicznemu.

Odmiany atomów tego samego pierwiastka chemicznego, jądra których zawierają jednakową ilość protonów i mają różną ilość neutronów, nazywamy **izotopami** („jednakowe według miejsca”).

Wszystkie pierwiastki chemiczne posiadają izotopy (rys. 22.7).

3 Dowiadujemy się o silnym oddziaływaniu

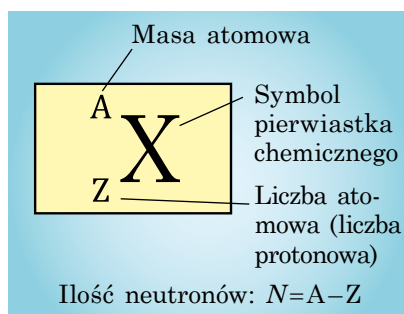
Już wiesz, że elektrony o ładunku ujemnym utrzymują się wokół dodatniego jądra dzięki elektromagnetycznemu oddziaływaniu. Jak będą utrzymywać się w jednym jądrze protony, jeżeli równoimienne naładowane cząstki odpychają się?

Udowodniono, że wszystkie cząstki w jądrze przyciągają się wzajemnie dzięki oddziaływaniu, które stukrotnie jest silniejsze od elektromagnetycznego odpychania protonów (rys. 22.8). Właśnie dlatego oddziaływanie nukleonów nazywamy **oddziaływaniem silnym**.

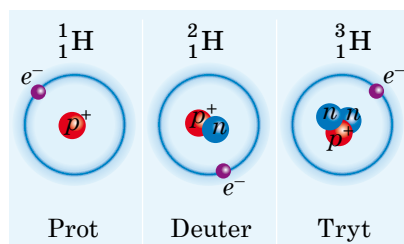
Siły wzajemnego oddziaływania protonów i neutronów, działające w jądrze i zapewniające istnienie jąder atomowych, nazywamy **siłami jądrowymi**.

Podstawowe właściwości sił jądrowych:

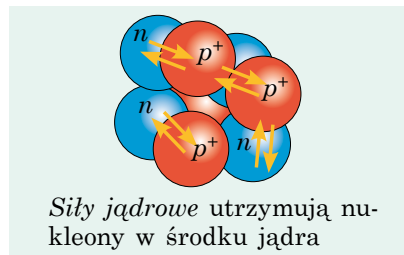
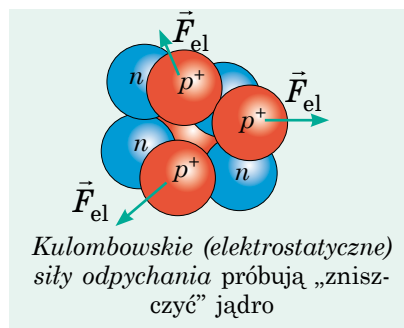
- 1) są tylko *siłami przyciągania*;
- 2) są *siłami krótko zasięgowymi*: pomiary wykazały, że siły jądrowe pomiędzy



Rys. 22.6. Oznaczenie nuklidu pierwiastka chemicznego



Rys. 22.7. Izotopy Wodoru. Symbolem e^- oznaczono elektrony, p^+ – protony, n – neutrony



Rys. 22.8. Siły wzajemnych oddziaływań między nukleonami jądra

Odkrycie budowy jądra atomowego można śmiało nazwać wydarzeniem „międzynarodowym”.

Proton został odkryty przez angielskiego fizyka, pochodzącego z Nowej Zelandii *Ernesta Rutherforda* (1911 r.), neutron – przez angielskiego fizyka *Jamesa Chadwicka* (1932 r.). Hipoteza protonowo-neutronowej budowy jądra atomu została wysunięta przez radzieckiego uczonego, pochodzącego z Połtawy, *Dmytra Iwanenka* i, niezależnie od niego, przez niemieckiego uczonego *Wernera Heisenberga* (1932 r.). Od tego czasu przedstawienie o budowie jądra praktycznie pozostaje niezmiennie.

nukleonami powstają tylko na odległościach, które w przybliżeniu są równe rozmiarom nukleonu (10^{-15} m);

3) *nie zależą od ładunku*: na jednakowej odległości siły, działające pomiędzy dwoma protonami, pomiędzy dwoma neutronami lub pomiędzy protonem a neutronem, są jednakowe;

4) posiadają *właściwość nasycenia*: nukleon jest zdolny do jądrowego oddziaływania wyłącznie z jednoczesnym oddziaływaniem niewielkiej ilości nukleonów–„sąsiadów”.



Podsumowanie

W wyniku doświadczeń, przeprowadzonych przez E. Rutherforda i jego współpracowników, stworzono model jądrowy budowy atomu, dzięki któremu wiemy, że w środku atomu znajduje się cząstka o ładunku dodatnim – jądro atomu, rozmiary której są o wiele mniejsze w porównaniu z rozmiarami atomu.

Jądra atomu składają się z nukleonów – protonów i neutronów. Ilość protonów (Z) w

jądrze atomu danego pierwiastka jest równa porządkowemu numerowi tego pierwiastka w Układzie Okresowym pierwiastków chemicznych D. Mendelejewa, ilość nukleonów (A) – jest równa masie atomowej.

Rodzaj atomów, który charakteryzuje się określoną ilością protonów i pewną ilością nukleonów, nazywamy nuklidem.

Odmiany pierwiastka chemicznego, atomy których zawierają w swoich jądrach jednakową ilość protonów, lecz różną ilość neutronów, nazywamy izotopami danego pierwiastka chemicznego.

W jądrze nukleony utrzymują się dzięki działaniu sił jądrowych. Siły jądrowe są siłami krótko zasięgowymi – nie występują na odległościach większych od rozmiaru nukleonu.



Pytania kontrolne

1. Opisz doświadczenie E. Rutherforda rozpraszania α -cząstek, podaj jego wyniki.
2. Z jakich cząstek składa się atom? jądro atomowe?
3. Co nazywamy liczbą atomową? masą atomową?
4. Jak oblicza się ilość protonów i neutronów w jądrze? Podaj przykład.
5. Co nazywamy nuklidem?
6. Jakie nuklidy nazywamy izotopami? Podaj izotopy Wodoru.
7. Jaki typ oddziaływania zabezpiecza utrzymanie nukleonu w jądrze atomu?
8. Podaj definicję sił jądrowych, wymień ich właściwości.



Ćwiczenie nr 22

1. Ile protonów i neutronów zawiera jądro atomu Argonu ${}^{40}_{18}\text{Ar}$?
2. Czym różnią się jądra izotopów Uranu: ${}^{238}_{92}\text{U}$ i ${}^{235}_{92}\text{U}$?

3. W jądrze atomu Boru znajduje się 5 protonów i 6 neutronów. Ile elektronów znajduje się w tym atomie? ile nukleonów zawiera jego jądro?
4. Wśród podanych symboli pierwiastków chemicznych wybierz ten, który zawiera największą ilość elektorów: Ca, Cu, Ge, Sb, P. Wykorzystaj Układ Okresowy pierwiastków chemicznych D. Mendelejewa.
5. Oblicz siły oddziaływania jądrowego pomiędzy protonami jądra na odległości 10^{-15} m.
6. Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się o życiu i działalności D. Iwanenka.



§ 23. RADIOAKTYWNOŚĆ. PROMIENIOWANIE RADIOAKTYWNE

W XXI wieku nie znajdzie się żadnej osoby, która chociażby raz nie robiła zdjęcia rentgenowskiego. Natomiast w końcu XIX w. zdjęcie rentgenowskie dłoni człowieka (rys. 23.1) było sensacją dla fizyków całego świata. Uczni rozpoczęli badania promieni rentgenowskich i poszukiwania ich źródeł. Jednym z takich uczonych był fizyk francuski A. Becquerel (rys. 23.2). W tym paragrafie dowiesz się, co zaobserwował podczas swoich badań.



Rys. 23.1. Pierwsze zdjęcie rentgenowskie dłoni człowieka

1

Dowiadujemy się o historii odkrycia radioaktywności

Odkrycie promieni rentgenowskich stało się początkiem historii odkrycia radioaktywności, co wydarzyło się przez przypadek.

Początkiem badań było przeprowadzenie uczonych, że promieniowanie rentgenowskie powstaje podczas krótkotrwałego świecenia się niektórych substancji, napromieniowanych światłem słonecznym*. Do takich substancji należą, na przykład niektóre sole Uranu. Aby sprawdzić swoje przypuszczenia, taką sól wykorzystał A. Becquerel.

Wiedząc, że promieniowanie rentgenowskie przenika przez czarny papier, uczony zawinął w taki papier kliszę fotograficzną**, położył na niej kryształki soli uranowej i pozostawił na kilka godzin w słońcu. Po wywołaniu zaobserwował, że na kliszy pojawiły się



Rys. 23.2. Antoine Henri Becquerel (1852–1908) – francuski fizyk, który w 1896 roku odkrył zjawisko promieniotwórczości soli Uranu

* Takie świecenie nazywamy *fluorescencją*.

** *Klisza fotograficzna* – szklana płytka pokryta substancją czułą na promieniowanie.

Albert Einstein porównywał odkrycie radioaktywności z odkryciem ognia, o ile uważał, że ogień i radioaktywność są jednakowo ważne odkrycia w historii ludzkości.



Rys. 23.3. Maria Skłodowska-Curie (1867–1934) – francuski fizyk i chemik (polskiego pochodzenia), dwukrotnie otrzymała Nagrodę Nobla jako jedyna kobieta wśród trzech badaczy w ciągu całej historii



Rys. 23.4. Piotr Curie (1859–1906) – fizyk francuski, zdobywca Nagrody Nobla

ciemne plamy dokładnie w tych miejscach, gdzie leżała sól uranowa. W taki sposób udowodniono, że sól uranowa w rzeczywistości promieniuje promieniowaniem o dużej zdolności przenikania i działa na kliszę fotograficzną.

A. Becquerel postanowił kontynuować badania i przygotował doświadczenie, nieco różniące się od poprzedniego. Jednak uczonemu przeszkodziła w tym zła pogoda. Wtedy kliszę fotograficzną z solą uranową i krzyżem miedzianym pozostawił w szufladzie biurka. Po kilku dniach, nie czekając na słoneczną pogodę, wywołał ją. Wynik był nieoczekiwany: na kliszy utrwalił się obraz krzyża. Okazało się, że światło słoneczne nie wpływało na doświadczenie, lecz *sól Uranu samodzielnie, bez wpływu czynników zewnętrznych, promieniuje niewidocznym promieniowaniem*, któremu nie przeszkodziła nawet warstwa miedzi!

Później takie promieniowanie nazwano **radioaktywnością** (od łac. *radio* – promieniuje, *activus* – aktywny); nuklidy, jądra których posiadają taką właściwość – **radionuklidami**.

2 Dowiadujemy się o radionuklidach

M. Skłodowska-Curie (rys. 23.3) zadała sobie pytanie „Czy tylko Uran promieniuje „promieniem Becquerela?” i szukając odpowiedzi na to pytanie, rozpoczęła swoje badania radioaktywności. Rzetelnie sprawdzwszy na radioaktywność prawie wszystkie znane na ten czas pierwiastki wykryła, że Tor również posiada właściwości radioaktywne. Oprócz tego, M. Skłodowska-Curie, wspólnie z mężem **P. Curie** (rys. 23.4) odkryli nowe pierwiastki radioaktywne, m.in. Polon i Rad.

? Zastanów się, dlaczego małżeństwo Curie nazwało pierwiastki właśnie w taki sposób.

Z czasem okazało się, że radioaktywność jest właściwa wszystkim bez wyjątku nuklidom pierwiastków chemicznych, porządkowy numer których jest większy od 82 ($Z > 82$). Jednak i inne pierwiastki mają radionuklidy (wszystkie naturalne lub sztucznie otrzymane).

3 Badamy skład promieniowania radioaktywnego

Doświadczenia badania natury promieniowania radioaktywnego potwierdzają, że substancje radioaktywne mogą wypromieniowywać promienie trzech rodzajów: dodatnio naładowane cząstki (α -promieniowanie), ujemnie naładowane cząstki (β -promieniowanie) i neutralne promienie (γ -promieniowanie). Na rys. 23.5 przedstawiono schemat jednego z takich doświadczeń: wiązka promieniowania radioaktywnego trafia najpierw w silne pole magnetyczne magnesu trwałego, następnie – na kliszę fotograficzną, po wywołaniu której na niej są widoczne trzy ciemne plamy.

? Przypomnij, kierunek ruchu jakich cząstek jest przyjęty za kierunek prądu elektrycznego i stosując rys. 23.5 oraz regułę lewej dłoni, przekonaj się, że α -cząstki mają ładunek dodatni.

Największy wkład w badania α -promieniowania wniósł E. Rutherford. Jako jeden z pierwszych wyjaśnił, że α -promieniowanie – to strumień jąder atomów Helu (${}^4_2\text{He}$), poruszających się z prędkością ok. 107 m/s. Ładunek α -cząstki równa się dwóm ładunkom elementarnym:

$$q_\alpha = +2|e| \approx +3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

β -promieniowanie, podobnie jak α -promieniowanie, jest odchylane przez pole magnetyczne, lecz w przeciwną stronę. Wykryto, że β -promieniowanie – jest to strumień elektronów (${}^0_{-1}e$), poruszających się z wielką prędkością (zblizoną do prędkości rozchodzenia się światła).

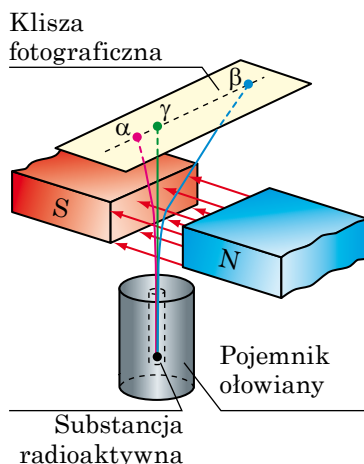
? Spodziewamy się, że zapisywanie ładunku i masy β -cząstki nie sprawi wam trudności.

Badanie γ -promieniowania pokazało, że są to fale elektromagnetyczne o bardzo wysokiej częstotliwości (powyżej 10^{18} Hz). Prędkość rozchodzenia się fal w próżni wynosi $3 \cdot 10^8$ m/s.

4 Ochrona przed radioaktywnym promieniowaniem

Większość ludzi kojarzy sobie słowo radiacja z niebezpieczeństwem. I słusznie. Człowiek nie odczuwa promieniowania radioaktywnego, jednak wiemy, że jest ono bardzo szkodliwe. Przed wpływem radiacji można się chronić, stawiając na drodze promieniowania przeszkody.

Najłatwiej chronić się przed α i β promieniowaniem. Chociaż α i β cząstki poruszają się z dużą prędkością, ich strumień łatwo zatrzymuje nawet cienka przeszkoda. Jak pokazują doświadczenia, wystarczy cienka kartka papieru (0,1 mm), aby



Rys. 23.5. Schemat doświadczenia badania natury radioaktywnego promieniowania

Rodzaje promieniowania radioaktywnego

- α -cząstki – jądra atomu Helu
- β -cząstki – elektrony szybkie
- γ -promienie – promieniowanie elektromagnetyczne o wysokiej częstotliwości

powstrzymać α -cząstki; β -promieniowanie całkowicie pochłania się, na przykład przez płytkę aluminiową o grubości 1 mm (rys. 23.6).

Najbardziej szkodliwe jest γ -promieniowanie – przenika ono przez grube warstwy substancji. W odrębnych przypadkach do ochrony od γ -promieniowania są niezbędne ściany betonowe o grubości kilku metrów.

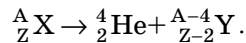
5 Podajemy definicję radioaktywności

Badanie radioaktywności pokazało, że promieniowanie radioaktywne jest skutkiem przemian jąder atomów. Przy czym przemiany te zachodzą w sposób dowolny (bez żadnych przyczyn), nie można ich przyspieszyć czy spowolnić, nie zależą one od zewnętrznego wpływu, czyli nie wpływa na nie zmiana ciśnienia i temperatury, działanie pola magnetycznego i elektrycznego, reakcje chemiczne, zmiana naświetlenia itd.

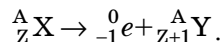
Radioaktywność – to zdolność jąder radionuklidów samorzutnie przekształcać się w jądra innych pierwiastków z emisją mikrocząstek.

Jądro *macierzyste*, promieniając α - czy β -cząstki, przekształca się w jądro atomu innego pierwiastka; α - i β -rozpadom towarzyszy γ -promieniowanie. Udowodniono, że przekształcenia radioaktywne opisywane są za pomocą *reguł przesunięcia*.

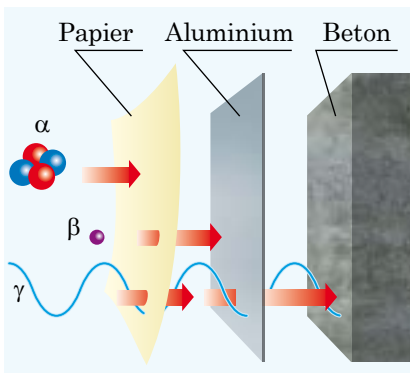
1. *Podczas α -rozpadu ilość nukleonów w jądrze zmniejsza się o 4, protonów – o 2, dlatego powstaje jądro pierwiastka, porządkowy numer którego jest o 2 mniejszy od numeru porządkowego początkowego pierwiastka (rys. 23.7):*



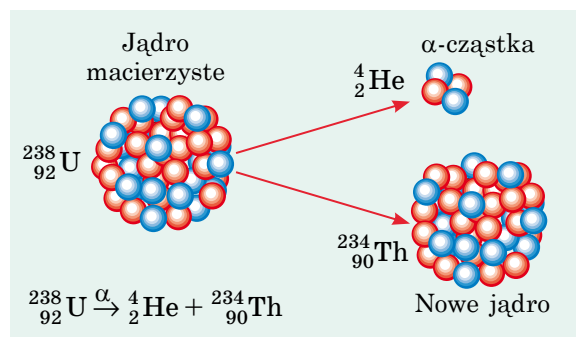
2. *Podczas β -rozpadu ilość nukleonów w jądrze nie zmienia się, ilość protonów zwiększa się o 1, dlatego powstaje jądro pierwiastka, porządkowy numer którego jest o 1 większy od numeru porządkowego początkowego pierwiastka (rys. 23.8):*



? Wiemy, że Radon (${}^{222}_{86}\text{Rn}$) jest α -radioaktywny. Jądro którego pierwiastka powstaje w wyniku α -rozpadu Radonu?



Rys. 23.6. Ochrona przed radioaktywnym promieniowaniem

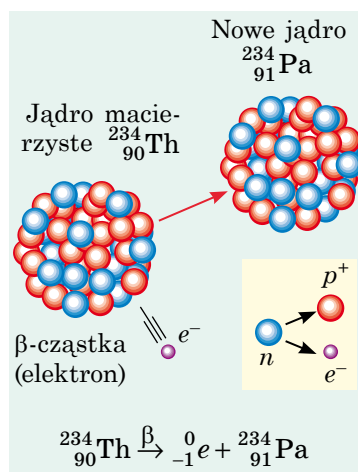


Rys. 23.7. Podczas α -rozpadu jądro macierzyste spontanicznie rozpada się na dwie części: α -cząstkę i nowe jądro

*** 6 Dowiadujemy się o radioaktywnych szeregach**

Wygląda na to, że po wyjaśnieniu radioaktywności spełniły się marzenia alchemików Średniowiecza o przemianie substancji w złoto? W rzeczywistości tak nie jest. Uczeń wyjaśnili, że jądro macierzyste atomu radioaktywnego pierwiastka X może zaznawać szereg przekształceń: jądro atomu pierwiastka X przekształca się w jądro atomu pierwiastka Y, następnie w jądro atomu pierwiastka Z itd., jednak w tym łańcuchu nie może być „gości” przypadkowych.

Ilość wszystkich izotopów, które powstają w wyniku kolejnych radioaktywnych przekształceń danego jądra nazywamy **radioaktywnym szeregiem**. Jeden z takich szeregów jest przedstawiony na rys. 23.9. Okazuje się, że istnieją cztery radioaktywne szeregi, które obejmują wszystkie znane w przyrodzie radioaktywne pierwiastki: szereg Toru (zaczyna się od Toru–232), szereg Uranu–Radu (zaczyna się od Uranu–238), szereg Uranu–Aktynu (zaczyna się od Uranu–235), szereg Neptunu (zaczyna się od Neptunu–237).



Rys. 23.8. Podczas β-rozpadu jeden z neutronów jądra macierzystego przekształca się w proton i elektron; elektron wypromieniowuje się, a proton pozostaje w jądrze (tworzy się nowe jądro)

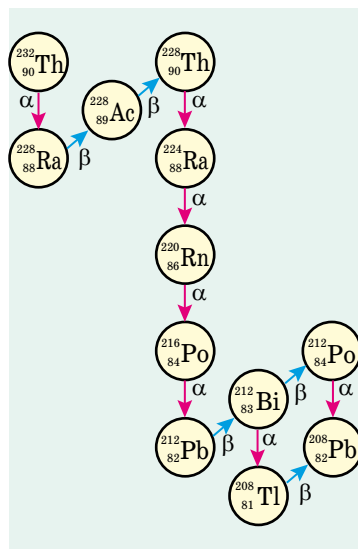


Podsumowanie

Promieniowanie radioaktywne odkrył fizyk francuski A. Becquerel.

Większość istniejących w przyrodzie i sztucznie otrzymanych nuklidów jest radioaktywna: ich jądra samorzutnie rozpadają się, wypromieniowując mikrocząstki i przekształcają się w inne jądra.

Rodzaje promieniowania radioaktywnego		
α-cząstki	β-cząstki	γ-promienie
strumień jąder Helu	strumień elektronów	fale elektromagnetyczne
v_{α} około 10^7 m/s	v_{β} około $3 \cdot 10^8$ m/s	$v_{\gamma} = c = 3 \cdot 10^8$ m/s
$q_{\alpha} = +2e$	$q_{\beta} = -e$	nienaładowane
są zatrzymywane przez kartkę papieru (0,1 mm)	są zatrzymywane przez płytkę aluminiową (1 mm)	są zatrzymywane warstwą betonu (kilka metrów)



Rys. 23.9. Radioaktywny szereg Toru. Szereg zaczyna się od Toru–232, który występuje w przyrodzie i kończy się Plumbum–208, który jest stabilny (nieradioaktywny)

Pytania kontrolne



1. W jaki sposób odkryto zjawisko radioaktywności? 2. Podaj przykłady naturalnych pierwiastków radioaktywnych. 3. Opisz doświadczenia badania natury radioaktywnego promieniowania. 4. Jakie znasz rodzaje radioaktywnego promieniowania? 5. Wyjaśnij naturę fizyczną α -, β - i γ -promieniowania. 6. Jak można zabezpieczyć się przed nadmiernym radioaktywnym promieniowaniem? 7. Podaj definicję radioaktywności. 8. Co dzieje się z jądrem atomu podczas promieniowania α -cząstki? β -cząstki?

Ćwiczenie nr 23



1. Jakie rodzaje radioaktywnego promieniowania działały na kliszę fotograficzną w doświadczeniach A. Becquerela? Rozglądnij dwa przypadki: a) kryształki soli Uranu położono bezpośrednio na czarnym papierze, w którym jest zawinięta klisza; b) sól Uranu położono na miedzianym krzyżu, który, z kolei, został położony na zawiniętej w czarny papier kliszy.
2. Długość fali γ -promieniowania wynosi 0,025 nm. Oblicz jej częstotliwość.
3. Za pomocą rys. 23.9 zapisz kilka równań reakcji rozpadu, które są charakterystyczne dla radioaktywnego szeregu Toru–232.
4. Podczas naturalnego radioaktywnego rozpadu Radu ($^{228}_{88}\text{Ra}$) z jego jądra jest emitowana β -cząstka. W jądro jakiego pierwiastka przekształca się przy tym jądro atomu Radu? Zapisz równanie reakcji.
5. Oblicz masę α -cząstki wiedząc, że masa protonu i masa neutronu w przybliżeniu wynoszą $1,7 \cdot 10^{-27}$ kg. Jaka jest energia kinetyczna α -cząstki, jeżeli porusza się ona z prędkością $1,5 \cdot 10^7$ m/s?
6. „W zależności od dawki wszystko może być trucizną i wszystko może być lekiem” – twierdził znany lekarz epoki Oświecenia *Paracelsus* (właśc. Theophrastus Bombastus von Hohenheim (1493–1541)). Wykorzystując dodatkowe źródła informacji dowiedział się, jak za pomocą szkodliwego radioaktywnego promieniowania można leczyć chorych.
7. Mamy 2 mole uranu i 2 mole helu. Ile atomów jest w każdej substancji?



Fizyka i technika na Ukrainie



Iwan Puluj (1845–1918) – ukraiński fizyk, elektrotechnik, wynalazca. 14 lat wcześniej niż Rentgen, skonstruował on rurkę, która później posłużyła wzorem dla współczesnych aparatów rentgenowskich. I. Puluj o wiele dokładniej od Rentgena przeanalizował istotę i mechanizm powstania X-promieni (później zostały one nazwane rentgenowskimi), i na przykładach wyjaśnił ich właściwości.

I. Puluj jako jeden z pierwszych skonstruował i stworzył przyrządy próżniowe, w tym luminescencyjną lampę gazową – przyrząd znany w technice jako „lampa Puluja” (pulujlampe). Zdjęcia w X-promieniach, wykonane przez I. Puluja za pomocą tej lampy, najczęściej były wykorzystywane w naukowych publikacjach do ilustracji tych promieni w medycynie.

Jeden z opatentowanych wynalazków uczonego pozwolił wykorzystywać linie przekazywania prądu zmiennego w jednoczesnej łączności telefonicznej.

Imieniem I. Puluja nazwano państwowy uniwersytet techniczny w Tarnopolu. PAN Ukrainy zapoczątkował premię im. I. Puluja – za wybitne osiągnięcia w dziedzinie fizyki stosowanej.

§ 24. AKTYWNOŚĆ SUBSTANCJI RADIOAKTYWNEJ. ZASTOSOWANIE RADIOAKTYWNYCH IZOTOPÓW

Czy można dowiedzieć się, które z jąder w pewnej substancji radioaktywnej rozpadnie się w pierwszej kolejności? Które będzie następne? Które rozpadnie się w ostatniej kolejności? Fizycy twierdzą, że nie można się tego dowiedzieć: rozpad tego czy innego jądra radionuklidów jest przypadkowym wydarzeniem. Jednocześnie zachowanie się substancji radioaktywnej podlega ustalonym prawidłowościom.

1 Dowiadujemy się o półokresie rozpadu

W zamkniętej szklanej probówce znajduje się określona ilość Radonu-220. Po 56 sekundach okaże się, że ilość Radonu w probówce zmniejsza się dwukrotnie. Jeszcze po 56 sekundach z reszty atomów pozostanie połowa itd. Wiadomo zatem, dlaczego odcinek 56 sekund nazwano *półokresem rozpadu*.

Półokres rozpadu $T_{1/2}$ – jest to wielkość fizyczna, która charakteryzuje radionuklid i dorównuje czasu, który upłynie do chwili, kiedy połowa jąder danego radionuklidu ulegnie rozpadowi.

Jednostką półokresu rozpadu w SI jest sekunda:

$$[T_{1/2}] = 1 \text{ c.}$$

Każdy radionuklid ma swój półokres rozpadu (patrz tabelę).

? Próbka zawiera $6,4 \cdot 10^{20}$ atomów Jodu-131. Ile atomów Jodu-131 pozostanie w próbce po upływie 32 dób?

2 Podajemy definicję aktywności radioaktywnego źródła

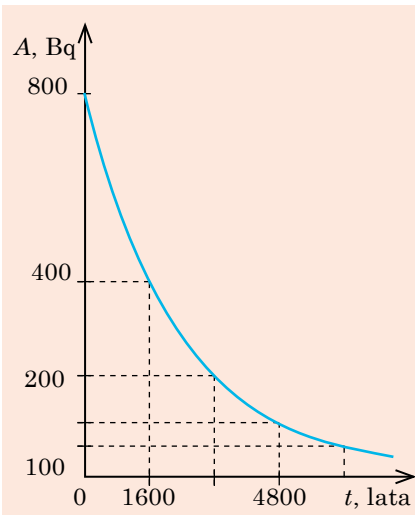
? I Uran-238, i Rad-236 są α -radioaktywne (ich jądra mogą samorzutnie rozpadać się na α -cząstkę i odpowiednie nowe jądro. Jeżeli ilość atomów Uranu-238 i Radu-236 jest jednakowa, z której próbki w ciągu 1 sekundy wylatuje więcej α -cząstek?

Spodziewamy się, że prawidłowo odpowiedziałeś na dane pytanie i uwzględniając to, że półokresy rozpadu danych radionuklidów różnią się prawie 3 000 000 razy, określiłeś, że w ciągu tego samego czasu w próbce radu odbywa się o wiele więcej α -rozpadu, niżeli w próbce uranu.

Aktywnością źródła radioaktywnego będziemy nazywać liczbę rozpadów promieniotwórczych, która następuje w ciągu 1 s.

Półokres rozpadu niektórych radioaktywnych izotopów

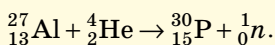
Radionuklid	Półokres rozpadu $T_{1/2}$
Jodum-131	8 dób
Carboneum-14	5700 lat
Kobalt-60	5,3 lat
Plutonium-239	24 000 lat
Radium-226	1600 lat
Radon-220	56 s
Radon-222	3,8 doby
Uranium-235	0,7 mlrd lat
Uranium-238	4,5 mlrd lat
Caesium-137	30 lat



Rys. 24.1. Wykres zależności aktywności Radu-226 od czasu. Półokres rozpadu Radu-226 wynosi 1600 lat

Historia odkrycia sztucznych izotopów radioaktywnych

Pierwszy sztuczny izotop radioaktywny ($^{30}_{15}\text{P}$) otrzymano na początku 1934 r. Przez małżeństwo *Frederica* i *Irene Jean Joliot-Curie* (czyt. Fryderyk i Iren Żan Żolio-Kiri). Przeprowadzili oni doświadczenie, w którym bombardowali folię aluminiową cząstkami α . W wyniku czego obserwowali emisję neutronu, czyli zaszła taka reakcja jądrowa:



Włoski fizyk *Enrico Fermi* znany jest dzięki swoim wybitnym osiągnięciom. Jednak najwyższą nagrodę – nagrodę Nobla – uczoney otrzymał za odkrycie sztucznej radioaktywności, spowodowanej napromienianiem substancji neutronami powolnymi. Obecnie metoda napromieniania neutronami znalazła szerokie zastosowanie w przemyśle do otrzymania radioaktywnych izotopów.

Aktywność radioaktywnego źródła oznaczamy symbolem A ; *jednostką aktywności w SI jest bekerel*.

1 Bq – jest to aktywność takiego radioaktywnego źródła, w którym w ciągu 1 s odbywa się 1 rozpad:

$$[A] = 1 \text{ Bq} = 1 \frac{\text{rozp}}{\text{s}} = 1 \text{ s}^{-1}.$$

Jednak 1 Bq jest bardzo małą aktywnością, dlatego stosowana jest *pochodna jednostka aktywności* – **kiur** (Ci):

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}.$$

? Ku czci jakich uczonych nazwano wartość jednostki? Jakie odkrycia do nich należą?

Jeżeli próbka zawiera atomy tylko jednego radionuklidu, to aktywność tej próbki wyznaczana jest według wzoru:

$$A = \lambda N,$$

Gdzie N – to ilość atomów radionuklidu w próbce w danym momencie λ – stała radioaktywnego rozpadu radionuklidu (wielkość fizyczna, która charakteryzuje radionuklid i jest związana z półokresem rozpadu za pomocą wzoru: $\lambda = \frac{0,69}{T_{1/2}}$; $[\lambda] = 1 \text{ s}^{-1}$).

Tak jak aktywność czystych substancji radioaktywnych maleje w czasie w ściśle określony sposób, to maleje również aktywność próbki (rys. 24.1).

3 Dowiadujemy się o zastosowaniu radioaktywnych izotopów

Obecność radionuklidów substancji w określonym obiekcie można zobaczyć dzięki promieniowaniu. Już wyjaśniliście, że aktywność promieniotwórczości zależy od rodzaju radionuklidów i jego ilości, która z czasem zmniejsza się. Wszystko to jest podstawą stosowania sztucznie otrzymanych radioaktywnych izotopów. Obecnie dla każdego pierwiastka promieniotwórczego występującego w przyrodzie, otrzymano sztuczne radioaktywne izotopy.

Rozróżniamy dwa kierunki zastosowania radioaktywnych izotopów.

1. *Zastosowanie radioaktywnych izotopów w postaci czujników.* Radioaktywność jest swego rodzaju znakiem, za pomocą którego można zobaczyć pierwiastek, obserwować jego zachowanie podczas procesów fizycznych i biologicznych (patrz na przykład rys. 24.2).

2. *Zastosowanie radioaktywnych izotopów jako źródeł γ -promieniowania* (patrz na przykład rys. 24.3).

Rozpatrzymy jeszcze kilka przykładów.



Rys. 24.2. W celu wyjaśnienia, w jaki sposób rośliny pobierają nawozy fosforowe, do tych nawozów dodawany jest radioaktywny izotop Fosforu, następnie bada się rośliny na radioaktywność i określa się ilość wchłanianego fosforu

4

Zastosowanie radioaktywnych izotopów do diagnostyki chorób

Wiadomo, na przykład, że tarczycza gromadzi jod, tkanka kostna – fosfor, potas i stront, wątroba – niektóre barwniki itd. Prędkość gromadzenia substancji zależy od stanu zdrowia narządu. Na przykład wiadomo, że aktywność tarczycy gwałtownie wzrasta w przypadku choroby Basedowa.

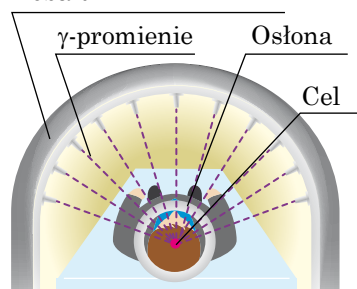
Za pomocą γ -radioaktywnego izotopu jodu wygodnie jest śledzić ilość jodu w tarczycy. Chemiczne właściwości radioaktywnego i stabilnego jodu są jednakowe, dlatego radioaktywny Jod-131 będzie gromadzić się podobnie jak i jego stabilny izotop.

Jeżeli tarczycza jest w normie, to po pewnym czasie od wprowadzenia do organizmu Jodu-131 γ -promieniowanie będzie najbardziej intensywne, jeżeli zaś tarczycza funkcjonuje z odchyleniem od normy, γ -promieniowanie będzie zbyt wysokie lub zbyt niskie.

Analogiczna metoda wykorzystywana jest do badań wymiany substancji w organizmie, wykrycia nowotworów i in.

Wiadomo, że podczas wykorzystania wyżej wymienionych metod diagnostyki należy rzetelnie dawkować ilość radioaktywnego preparatu, aby wewnętrzne napromieniowanie spowodowało minimalny negatywny wpływ na organizm człowieka.

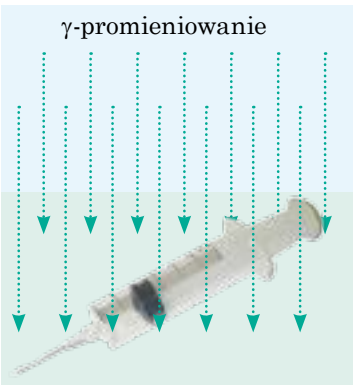
Radioaktywny izotop Kobaltu



Rys. 24.3. Zastosowanie γ -promieniowania w leczeniu chorób onkologicznych. Aby γ -promienie nie niszczyły zdrowe komórki, stosuje się kilka słabych wiązek γ -promieni, które skupia się na nowotworze



Rys. 24.4. Otrzymany z młodego drzewa 1 g węgla ma aktywność 14–15 Bq (promieniuje 14–15 β -cząstek za sekundę). Po upływie 5700 lat od śmierci drzewa, ilość β -rozpadu w ciągu sekundy zmniejsza się dwukrotnie



Rys. 24.5. Najbardziej rozposzeczniłą produkcją medyczną: strzykawki, systemy do przetłaczania krwi – przed dostarczeniem do odbiorcy rzetelnie sterylizuje się za pomocą γ -promieniowania

5 Określamy wiek starożytnych przedmiotów

W atmosferze Ziemi zawsze jest określona ilość β -radioaktywnego Carboneum $^{14}_6\text{C}$, który tworzy się z Nitrogenium na skutek reakcji jądrowej z neutronami. Ten izotop zawarty w dwutlenku węgla (CO_2) jest pochłaniany przez rośliny, a za ich pośrednictwem – przez zwierzęta. Póki zwierzę lub roślina są żywe, zawartość radioaktywnego Carboneum podtrzymuje się w nich stale. Po śmierci organizmu ilość radioaktywnego Carboneum zaczyna zmniejszać się, zmniejsza się również aktywność β -promieniowania. Wiedząc, że półokres rozpadu Carboneum $^{14}_6\text{C}$ wynosi 5700 lat, można określić wiek archeologicznych wykopalisk (rys. 24.4).

6 Zastosowanie γ -promieniowania w technice

Gamma-promieniowanie jest wykorzystywane w technice, na przykład w urządzeniach o nazwie *gamma-defektoskopy*. Za pomocą danych urządzeń sprawdza się, na przykład, jakość łączeń spawanych. Gdy podczas spawania zawiasów do bramy majster popełnił błąd, to po jakimś czasie zawiasy odłamają się. Ten błąd można poprawić. Jednak, gdy taki błąd trafi się przy spawaniu części konstrukcji mostu lub reaktora jądrowego, tragedii nie da się uniknąć. Dzięki temu, że γ -promienie są pochłaniane przez stal maszynową i stal z pustkami, gamma-defektoskop widzi pęknięcia wewnątrz metalu, więc wskazuje braki jeszcze na początkowym etapie sporządzania konstrukcji.

7 Niszczymy drobnoustroje za pomocą radiacji

Wiadomo, że określona dawka napromieniowania zabija organizmy. Jednak nie wszystkie one są przydatne dla człowieka. Medycy ciągle pracują nad tym, aby pozbyć się drobnoustrojów chorobotwórczych. Przypomnij sobie: w szpitalach myje się podłogę specjalnym roztworem, napromieniowuje się pomieszczenia światłem nadfioletowym, obrabia się sprzęt medyczny itd. Takie zabiegi nazywamy dezynfekcją czy sterylizacją.

Ogromny potencjał γ -promieniowania daje możliwość stosowania go na szeroką skalę (rys. 24.5). Taka sterylizacja jest wykonywana w

specjalnie stworzonych urządzeniach z bezpieczną ochroną od przenikającej radiacji. Jako źródło γ -promieni wykorzystywane są sztucznie stworzone izotopy Cobaltum (${}_{27}^{60}\text{Co}$) i Caesium (${}_{55}^{137}\text{Cs}$).

8 Uczymy się rozwiązywać zadania

Zadanie. Wyznacz masę Radium-226, jeżeli jego aktywność wynosi 5 Ci. Stała radioaktywnego rozpadu Radium-226 wynosi $1,37 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$.

Analiza problemu fizycznego, poszukiwanie modelu matematycznego

Zadanie rozwiązujemy za pomocą wzoru wyznaczania aktywności: $A = \lambda N$. Znając aktywność, obliczamy ilość N atomów Radium. Masę substancji wyznaczamy ze wzoru: $m = N \cdot m_0$.

Z nauki chemii wiesz:

- 1 mol substancji zawiera $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ atomów;
- masa atomów $m_0 = \frac{M}{N_A}$, gdzie M – masa molowa substancji.

Dane:

$$A = 5 \text{ Ci} = 5 \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bk}$$

$$\lambda = 1,37 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$$

$$M = 226 \text{ g/mol} = 226 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

Rozwiązanie

$$m = N \cdot m_0, \text{ gdzie } m_0 = \frac{M}{N_A}, \text{ więc, } m = N \cdot \frac{M}{N_A}.$$

$$\text{Tak jak, } A = \lambda N, \text{ to } N = \frac{A}{\lambda}.$$

Podstawiamy wyrażenie dla N do wzoru obliczania masy:

$$m = \frac{A}{\lambda} \cdot \frac{M}{N_A} = \frac{AM}{\lambda N_A}.$$

Znaleźć:

m – ?

Sprawdzamy jednostkę, obliczamy wartość szukanej wielkości:

$$[m] = \frac{\text{Bk} \cdot \text{kg/mol}}{\text{s}^{-1} \cdot \text{1/mol}} = \frac{\text{s}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}}{\text{s}^{-1} \cdot \text{mol}} = \text{kg}; \quad m = \frac{5 \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \cdot 226 \cdot 10^{-3}}{1,37 \cdot 10^{-11} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 5,1 \cdot 10^{-3} \text{ (kg)}.$$

Odpowiedź: $m = 5,1 \text{ g}$.



Podsumowanie

Półokres rozpadu $T_{1/2}$ jest to czas, jaki upłynie do chwili, kiedy połowa jąder ulegnie rozpadowi. Półokres rozpadu jest charakterystyką radionuklidu.

Aktywnością będziemy nazywać liczbę rozpadów radioaktywnych, która następuje w ciągu 1 s. Jeżeli źródło zawiera atomy tylko jednego radionuklidu, to aktywność A źródła można wyznaczyć według wzoru: $A = \lambda N$, gdzie N – ilość atomów radionuklidu w próbce; λ – stała radioaktywnego rozpadu radionuklidu. Jednostką aktywności w SI jest bekerel (Bq).

Z upływem czasu aktywność radionuklidów zmniejsza się. Daną właściwość zastosowuje się do wyznaczania wieku archeologicznych wykopaliisk. Sztucznie stworzone izotopy stosuje się do sterylizacji jednorazowego sprzętu medycznego, diagnostyki i leczenia chorób, znalezienia defektów w metalach i in.



Pytania kontrolne

1. Podaj definicję półokresu rozpadu. Co wyznacza dana wielkość fizyczna? **2.** Co nazywamy aktywnością radioaktywnego źródła? **3.** Podaj jednostkę aktywności w SI. **4.** Jak jest powiązana aktywność radionuklidu z jego stałą rozpadu? **5.** Czy zmienia się z czasem aktywność radionuklidu? Jeżeli zmienia się, to dlaczego i w jaki sposób? **6.** Podaj przykłady zastosowania radioaktywnych izotopów.



Ćwiczenie nr 24

- Mamy jednakową ilość jąder Jodiu-131, Radonu-220 i Uranium-235. Jaki radionuklid ma największy półokres rozpadu? Aktywność jakiego radionuklidu na dany moment czasu jest największa? Uzasadnij odpowiedź.
- Próbka zawiera $2 \cdot 10^{20}$ atomów Jodiu-131. Oblicz, ile jąder Jodiu rozpada się w próbce w ciągu godziny. Aktywność Jodiu-131 w ciągu tego czasu uważaj za stałą. Stała radioaktywnego rozpadu Jodiu-131 wynosi $9,98 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$.
- Półokres rozpadu radioaktywnego Carboneum-14 wynosi 5700 lat. Ile razy zmniejszy się ilość atomu Carboneum-14 w sośnie ściętej 17 100 lat temu?
- Oblicz półokres rozpadu radionuklidu, jeżeli w ciągu 1,2 s ilość jąder, które rozpadły się, wynosi 75 % od ich początkowej ilości.
- Na dany moment czasu w radioaktywnej próbce znajduje się 0,05 moli Radonu-220. Wyznacz aktywność Radonu-220.
- Obecnie, jednym z najbardziej znaczących jest badanie wymiany substancji w organizmie człowieka za pomocą radioaktywnych izotopów. Zauważono, że za stosunkowo krótki czas organizm prawie całkowicie regeneruje się. Wykorzystaj dodatkowe źródła informacji i dowiedz się więcej o tych badaniach.

Fizyka i technika na Ukrainie

Państwowe centrum naukowe „Fizyko-techniczny instytut” w Charkowie jest znanym na skalę światową centrum naukowym w dziedzinie nauk fizycznych. Instytucja została założona w 1928 r. z inicjatywy akademika A. Joffe w celu badań w dziedzinie fizyki jądrowej i fizyki ciała stałego i nazwana Ukraińskim fizyko-technicznym instytutem.

W 1932 roku w instytucie miało miejsce wybitne osiągnięcie naukowe – dokonano rozszczepienia jądra atomu Litium. Później, w warunkach laboratoryjnych, otrzymano ciekły wodór i hel, zbudowano pierwszy trójwspółrzędny radar, przeprowadzono pierwsze badania techniki wysokopróżniowej, co zapoczątkowało rozwój nowego fizyko-technologicznego kierunku – metalurgii próżniowej. Po wojnie uczeni instytutu odegrali ważną rolę w rozwiązaniu problemu wykorzystania energii atomowej.

W różnych latach pracowali tu wybitni fizycy: I. Obreimow, L. Landau, I. Kurczatow, K. Synelnikow, L. Szubnykow, O. Lejpuński, E. Lifszyc, I. Liwszyc, A. Walter, B. Łazariew, D. Iwanenko, A. Achijezzer, W. Iwanow, J. Fajnberg, D. Wołkow i in. Szkoły naukowe, stworzone w instytucie, są znane na całym świecie.

W instytucie znajduje się najbardziej potężny liniowy przyspieszacz elektronów, a także zbiór urządzeń termojądrowych „Uragan”.

Dyrektorem centrum jest znany ukraiński fizyk akademik PAN Ukrainy *Mykoła Szulga*.



§ 25. JONIZUJĄCE DZIAŁANIA RADIOAKTYWNEGO PROMIENIOWANIA. NATURALNE TŁO RADIOAKTYWNE. DOZYMETRY

Radioaktywne promieniowanie jest niebezpieczne dla organizmu. Z tego paragrafu dowiesz się dlaczego tak jest i za pomocą jakich przyrządów można mierzyć poziom radiacji. Jakiego poziomu radiacji należy się bać, a przy którym można być spokojnym.

1 Badamy wpływ jonizującego promieniowania na organizm

Radioaktywne α -, β -, γ -promieniowania wywierają wielki wpływ na organizmy żywe. Trafiając do substancji, te radioaktywne promieniowania przekazują jej swoją energię. Pochłaniając tę energię atomy i cząsteczki substancji jonizują się, na skutek czego zmienia się ich aktywność chemiczna, powstają nowe bardzo aktywne substancje chemiczne.

Życie dowolnego organizmu jest zabezpieczane dzięki reakcjom chemicznym zachodzącym w jego komórkach, dlatego silne radioaktywne napromieniowanie doprowadza do naruszenia funkcji wszystkich narządów: zwiększa się kruchość i przenikliwość naczyń krwionośnych, obniża się oporność organizmu, dochodzi do zakłócenia działalności układu trawiennego, naruszają się funkcje narządów obiegu krwionośnego, normalne komórki przekształcają się na nowotworowe.

2 Charakterystyka promieniowania jonizującego

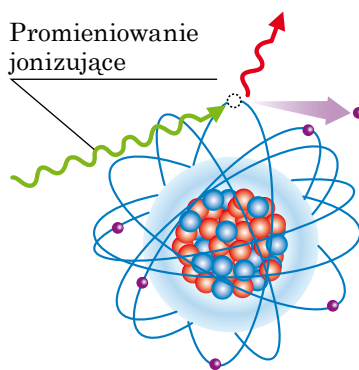
Wiadomo, że im większa jest pochłonięta przez substancję energia promieniowania, tym większy jest wpływ promieniowania na substancję.

Stosunek energii W jonizującego promieniowania, pochłoniętego przez substancję, do masy m tej substancji, nazywamy **pochłoniętą dawką promieniowania jonizującego (D)**:

$$D = \frac{W}{m}$$

Jednostką miary dawki pochłoniętej w SI – jest – **grej** (ku czci angielskiego fizyka *L. Greya* (rys. 25.2)):

$$[D] = 1 \text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}.$$



Rys. 25.1. Na skutek pochłaniania energii promieniowania jonizującego elektron wylatuje z atomu i atom zamienia się na jon dodatni



Rys. 25.2. Louis Harold Gray (1905–1965) fizyk angielski, który pracował nad problemami powiązаныmi z wpływem napromieniowania na układy biologiczne; twórca radiobiologii

Współczynnik jakości dla niektórych rodzajów promieniowania jonizującego

Rodzaj promieniowania	Współczynnik jakości (K)
α -promieniowanie	20
β -promieniowanie	1
γ -promieniowanie	1
Neutrony	5–10
Protony	5



Rys. 25.3. R. Sievert (1896–1966) – uczonego szwedzki. Pracował w dziedzinie fizyki medycznej, badał wpływ radiacji na układy biologiczne



Rys. 25.4. Żmije są bardzo odporne na radiację. Niektóre z nich mogą wytrzymać radioaktywne napromieniowanie do 150 Gy

Biologiczny wpływ różnych rodzajów promieniowania na organizmy żywe jest różny pod warunkiem jednakowej dawki pochłoniętej. Na przykład, przy jednakowej energii α -promieniowanie jest bardziej niebezpieczne, niż β - lub γ -promieniowania.

Wielkość fizyczną, która charakteryzuje biologiczny wpływ pochłoniętej dawki promieniowania jonizującego, nazywamy **dopuszczalną dawką promieniowania jonizującego (H)**:

$$H = K \cdot D,$$

gdzie D – pochłonięta dawka; K – współczynnik jakości, który określa szkodliwość danego rodzaju promieniowania: im większy jest współczynnik jakości, tym bardziej niebezpieczne jest promieniowanie (patrz tabelę).

Jednostką dopuszczalnej dawki promieniowania jonizującego w SI jest **siwert** (ku czci uczonego szwedzkiego R. Sieverta (czyt. Ziwert (rys. 25.3))):

$$[H] = 1 \text{ Sv}.$$

3 Badamy osobliwości wpływu radiacji

Uszkodzenia organizmów, uwarunkowane wpływem radiacji, posiadają szereg osobliwości.

Po pierwsze, najbardziej czule na radiację są te komórki, które szybko dzielą się. Dlatego jako pierwszy odczuwa działanie radioaktywnego napromieniowania szpik kostny, na skutek czego zakłóca się proces obiegu krwi.

Po drugie, różne typy organizmów posiadają różną czułość do radioaktywnego napromieniowania (rys. 25.4). Najbardziej odporne na radiację są jednokomórkowe organizmy.

Po trzecie, skutki wpływu jednakowej pochłoniętej dawki napromieniowania zależą od wieku organizmu.

Zaznaczmy, że oprócz zewnętrznego napromieniowania istnieje niebezpieczeństwo i wewnętrznego napromieniowania. Przecież radionuklidy mogą trafiać do organizmu, na przykład z jedzeniem lub wodą. Duże niebezpieczeństwo wewnętrznego napromieniowania jest uwarunkowane kilkoma czynnikami.

Po pierwsze, niektóre radionuklidy zdolne są do przypadkowego gromadzenia się w odrębnych narządach. Na przykład 30 % jodu gromadzi się w tarczycy, masa której stanowi tylko 0,03 % masy

ciała człowieka. Więc radioaktywny jod całkowitą swoją energię oddaje niewielkiej objętości tkanki.

Po drugie, wewnętrzne napromieniowanie jest trwałe: radionuklid, który trafił do organizmu, nie od razu wyprowadza się z niego, a zaznaje szeregu radioaktywnych przemian wewnątrz organizmu. Przy tym powstaje radioaktywne napromieniowanie, które jonizuje cząsteczki i tym samym zmienia ich biochemiczną aktywność.

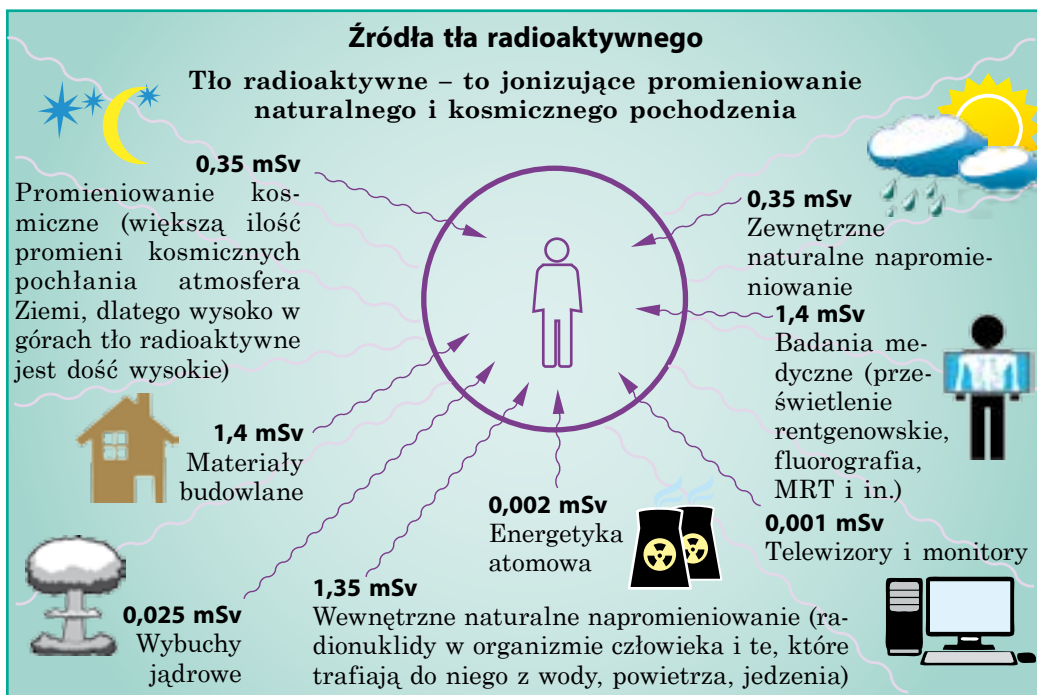
4 Dowiadujemy się o radioaktywnym tle

Niezależnie od tego, w jakim miejscu Ziemi mieszka człowiek, stale zaznaje on wpływu radiacji, ponieważ wszędzie istnieje *radioaktywne tło* (rys. 25.5).

Radioaktywne tło Ziemi składa się z kilku części: kosmiczne promieniowanie; promieniowanie naturalnych radionuklidów, znajdujących się w skorupie ziemskiej, powietrzu i innych obiektach środowiska zewnętrznego; promieniowanie sztucznych radioaktywnych izotopów.

Promieniowanie naturalnych radionuklidów i kosmiczne promieniowania tworzą **naturalne tło radioaktywne**.

W wyniku działalności człowieka radioaktywne tło poważnie zmieniło się – zaszło *technogeniczne podwyższenie tła radioaktywnego*. Przykładem takiej działalności człowieka jest wydobywanie dóbr naturalnych, które zawierają podwyższoną ilość radionuklidów. Przykładem podwyższonej zawartości naturalnych radioaktywnych izotopów jest wydobywanie kopalin użytecznych, na przykład granitu. Następnie budujemy łańcuszek. Miał granitowy jest częścią składową betonu, z którego



Rys. 25.5. Średnie dopuszczalne dawki promieniowania jonizującego, które otrzymuje człowiek od niektórych źródeł radiacji w ciągu roku

budowane są domy. Zatem podwyższonego tła radioaktywnego należy szukać w pierwszej kolejności wewnątrz budynków z betonu, a szczególnie w zamkniętych niewietrzonych pomieszczeniach (stężenie radonu w zamkniętych pomieszczeniach w przybliżeniu jest 8 razy większe, niż na zewnątrz).

? Przeanalizuj rys. 25.5. Od jakich źródeł człowiek otrzymuje największą dawkę radiacji? Czy duży wpływ ma radiacja, związana z rozwojem energetyki jądrowej?

5 Zapoznamy się z dozymetrem

Życie na Ziemi powstało i rozwija się w warunkach ciągłego działania radiacji. Dlatego naturalne tło radioaktywne prawie nie wpływa na życie i zdrowie człowieka. Współczesne radiobiologiczne badania udowadniają, że przy takich dawkach, które odpowiadają tłu radioaktywnemu 1–2 mSv rocznie, działanie radiacji jest bezpieczne dla człowieka.

Jednak niewielki wzrost dopuszczalnego poziomu radiacji może spowodować defekty genetyczne, które mogą pojawić się u dzieci lub wnuków człowieka, który był napromieniowany. Przy dużych dawkach radiacja powoduje poważne porażenia tkanek. Na przykład otrzymana w ciągu kilku godzin dawka promieniowania równa 1 Sv powoduje niebezpieczne zmiany we krwi, a dawka 3–5 Sv w 50 % jest śmiertelna. Dlatego pracownicy, którzy mają do czynienia z radiacją lub przez pewien czas znajdują się na terenach radiacyjnie skażonych, koniecznie powinni stosować *dozymetry*.

Dozymetr – jest to przyrząd do pomiaru dawki promieniowania jonizującego, otrzymanego poprzez ten przyrząd (i tym, kto z niego korzysta) w ciągu pewnego odcinka czasu, na przykład za czas znajdowania się na niektórych terenach lub podczas pracy.

Przyrządy do pomiaru natężenia radioaktywnego promieniowania od pewnego źródła (cieczy, gazu, zanieczyszczonej powierzchni) nazywamy **radiometrami** (lub *dozymetrami drugiego typu*) (rys. 25.6, a).

Organizm człowieka zawiera ok. $3 \cdot 10^{-3}$ g radioaktywnego potasu i $6 \cdot 10^{-9}$ g radu. Na skutek tego w organizmie człowieka co sekundy odbywa się 6 tys. β -i 220 α -rozpadów.

Jeszcze 2500 β -rozpadów odbywa się w ciągu sekundy dzięki radioaktywnemu węglowi.

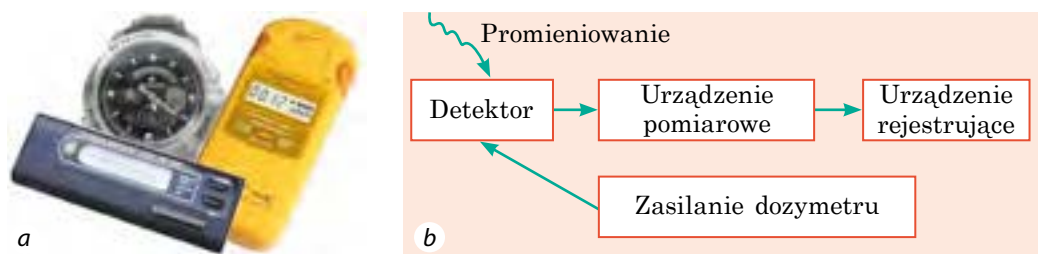
Ogółem co sekundy w organizmie człowieka odbywa się 10 tys. rozpadów.

Główną częścią dozymetru jest *detektor* – urządzenie, które rejestruje promieniowanie jonizujące (patrz rys. 25.6, b). W przypadku trafiania promieniowania jonizującego na detektor powstają sygnały elektryczne (impulsy prądu lub napięcia), które są odczytywane przez *przyrząd pomiarowy*. Dane o dawce promieniowania jonizującego są rejestrowane przez *urządzenie rejestrujące* (za pomocą licznika elektromechanicznego, dźwiękowego lub indykatora świetlnego).



Podsumowanie

Trafiając do substancji, radioaktywne promieniowanie przekazuje jej swoją energię. W wyniku tego niektóre atomy i cząsteczki substancji jonizują się, zmienia się ich chemiczna aktywność. Tak jak podstawą działalności życiowej



Rys. 25.6. Dozymetry codziennego użytku (radiometry): *a* – wygląd; *b* – typowy schemat

organizmu są reakcje chemiczne, to radioaktywne promieniowanie wywiera działanie biologiczne.

Stosunek energii W promieniowania jonizującego, pochłoniętego przez substancję, i masy m tej substancji nazywamy pochłoniętą dawką promieniowania jonizującego D : $D = W/m$.

Biologiczny wpływ promieniowania jonizującego zależy od pochłoniętej dawki i od samego promieniowania; charakterystyką biologicznego wpływu jest dopuszczalna dawka promieniowania jonizującego: $H = KD$, gdzie K – współczynnik jakości.

Jednostką pochłoniętej dawki promieniowania w SI jest grej (Gy), jednostką dawki dopuszczalnej – siwert (Sv). Do pomiaru dawek promieniowania jonizującego wykorzystywane są dozymetry.

Na powierzchni Ziemi jest rejestrowany pewien poziom radiacji – tło radioaktywne, które składa się z promieniowania kosmicznego, promieniowanie naturalnych radionuklidów i sztucznych radioaktywnych izotopów.

Pytania kontrolne



1. Na czym polega biologiczne działanie radiacji na organizmy?
2. Podaj definicję pochłoniętej dawki promieniowania jonizującego. Podaj jej jednostkę w SI.
3. Jak oblicza się dopuszczalną dawkę promieniowania jonizującego? Podaj jej jednostkę w SI.
4. Jakie są osłabienia wpływu radiacji? Czym jest uwarunkowane podwyższone niebezpieczeństwo radionuklidów, które trafiły do organizmu?
5. Podaj przyczyny, przez które zawsze i niezależnie od miejsca zamieszkania, zaznajesz wpływu radiacji.
6. Czym jest tło radioaktywne? Z jakich części ono się składa?
7. Podaj źródła tła radioaktywnego Ziemi.
8. W jakim celu stosuje się dozymetry? Opisz zasady ich działania.

Ćwiczenie nr 25



1. Znajdujesz się w pobliżu źródła α -promieniowania. Jak możesz się zabezpieczyć przed szkodliwym wpływem radiacji?
2. Na skutek zewnętrznego napromieniowania pracownik laboratorium co sekundy otrzymuje pochłoniętą dawkę promieniowania jonizującego równą $2 \cdot 10^{-9}$ Gy. Jaka pochłonięta dawka otrzyma pracownik w ciągu godziny?
3. Podczas wewnętrznego napromieniowania każdy gram żywej tkanki pochłania 108 α -cząstek. Oblicz dopuszczalną dawkę napromieniowania, jeżeli energia każdej α -cząstki wynosi $8,3 \cdot 10^{-13}$ J.

4. Jaką dopuszczalną dawkę promieniowania jonizującego otrzyma w ciągu 1 h osoba, znajdująca się w pobliżu źródła γ -promieniowania, jeżeli co sekundy otrzymuje ona pochłoniętą dawkę $25 \cdot 10^{-9}$ Gy?
5. Istnieje hipoteza, że ludzkość powstała na skutek mutacji małp pod wpływem działania radioaktywnego promieniowania. Stosując dodatkowe źródła informacji, dowiedz się o tej hipotezie więcej. Czy można się z nią zgodzić? Wyjaśnij swoje zdanie.



Doświadczenie

Jeżeli masz dozymetr, zmierz tło radioaktywne w różnych miejscach swego mieszkania, w pobliżu kostki granitowej, w budynku betonowym, ceglany i drewnianym, w piwnicy budynku, na górnym piętrze. Wyjaśnij wyniki swoich badań.



§ 26. JĄDROWA REAKCJA ŁAŃCUCHOWA. REAKTOR JĄDROWY

„...Poprzednie epoki otrzymały swoje nazwy od niektórych materiałów: epoka kamienia, epoka brązu, żelaza. Jednak żadnej z nich nie byłoby, gdyby człowiek nie wynalazł ognia. Prawdziwe bogactwo świata – to jego energia”, – pisał angielski radiochemik, zdobywca nagrody Nobla *Frederic Soddy* (1877–1956) w swojej książce „Materia i energia”. XX wiek śmiało można nazwać wiekiem atomowym, ponieważ w tym wieku człowiek odkrył i zaczął wykorzystywać energię jądra atomowego. O tym, jak pomagają badania fizyki jądrowej w zaopatrzeniu ludzkości w energię, dowiesz się z tego paragrafu.

1

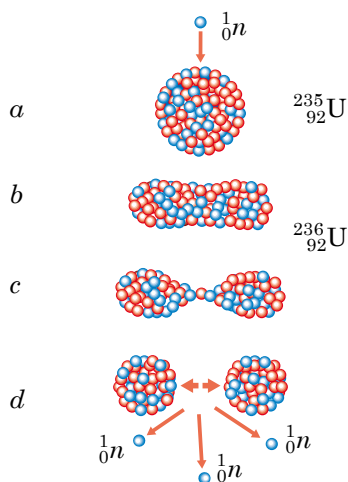
Dowiadujemy się o rozszczepieniu ciężkich jąder i jądrowej reakcji łańcuchowej

W końcu 1938 roku, niemieccy radiochemicy *Otto Hahn* (1879–1968) i *Fritz Strassmann* (1902–1980) przeprowadzali doświadczenia napromieniowania uranu neutronami. Wielkim zdziwieniem było to, że w trakcie doświadczeń wykryto Bar i niektóre inne pierwiastki środkowej części Układu Okresowego pierwiastków chemicznych D. Mendelejewa.

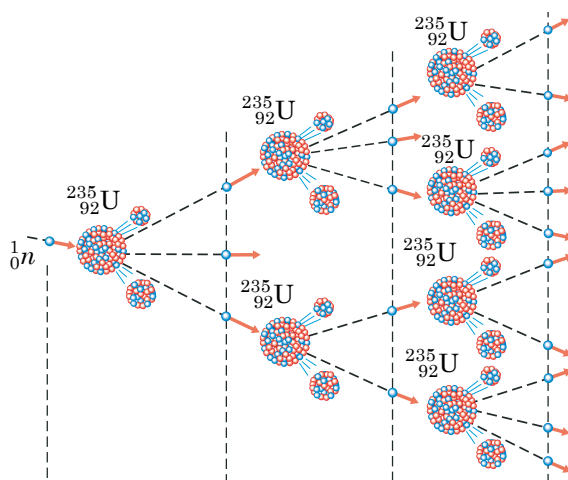
Wyjaśniając nieoczekiwane dla uczonych tego czasu wyniki doświadczeń, australijski radiochemik *Lisa Meitner* (1878–1968) i angielski fizyk *Otto Frish* (1904–1979) wywnioskowali, że jądro Uranium (ciężkie jądro), pochłaniając neutron, „pęka” – rozszczepia się na dwa lżejsze jądra.

W taki sposób odkryto **rozszczepienie jądra** – *rozpad ciężkiego jądra atomowego na dwa (rzadziej trzy) jądra, które nazwano ułamkami podziału** (rys. 26.1).

* W 1945 r. za odkrycie rozszczepienia jądra ciężkiego O. Hahn otrzymał nagrodę Nobla w dziedzinie chemii.



Rys. 26.1. Schemat rozszczepienia jąder Uranium. Pochłaniając neutron (a), jądro Uranium wzbudza się i wydłuża się (b); powoli rozciąga się (c), nowe nietrwale jądro rozszczepia się na dwa ułamki (d)



Rys. 26.2. Schemat narastania jądrowej reakcji łańcuchowej: podczas jednego rozszczepienia jądra Uranium uwalniają się dwa lub trzy neutrony, dzięki którym i rozwija się jądrowa reakcja łańcuchowa

? Powróć do rys. 26.1 i wyjaśnij, dlaczego ułamki rozlatują się z dużą prędkością. *Podpowiedź:* siły jądrowe (siły przyciągania, utrzymujące nukleony w środku jądra) są krótko zasięgowe, a siły elektrostatyczne (kulombowskie) – daleko zasięgowe.

Jeżeli uważnie zapoznałeś się ze schematem na rys. 26.1, to prawdopodobnie zwróciłeś uwagę na to, że podczas rozszczepienia jądra Uranium, oprócz ułamków rozpadu, wyzwolane są neutrony. Te neutrony mogą spowodować rozpad innych jąder Uranium, które z kolei również emitują neutrony, zdolne spowodować rozpad następnych jąder, itd. Ilość rozszczepianych jąder szybko wzrasta – w próbce uranowej zachodzi łańcuchowa **jądrowa reakcja rozszczepienia** (rys. 26.2).

Ważnym jest to, że w trakcie rozpadu *wydzielane są na zewnątrz duże ilości energii*. Podczas rozpadu jednego jądra Uranium wydzielane jest tylko $3,2 \cdot 10^{-11}$ J energii, jednak gdy rozpadają się wszystkie jądra, które znajdują się, na przykład, w jednym molu uranu (235 g Uranium; $6,02 \cdot 10^{23}$ jąder) to wydzielona energia będzie w przybliżeniu równać się $19,2 \cdot 10^{12}$ J. Tyle samo energii wydzielili się przy spalaniu, na przykład 450 t ropy naftowej.

2 Poznajemy budowę reaktora jądrowego

Łańcuchowa reakcja rozpadu, która odbywa się w uranie i niektórych innych substancjach jest podstawą przemiany się energii jądrowej w energię cieplną i elektryczną. Przypomnij sobie: podczas reakcji łańcuchowej ciągle pojawiają się nowe odłamki rozpadu, które poruszają się z dużą prędkością. Jeżeli pręt uranowy zanurzymy w zimnej wodzie, to odłamki zderzą się z cząsteczkami wody

i przekażą im swoją energię. W wyniku tego zimna woda ogrzeje się, a nawet zamieni się w parę. Właśnie tak pracuje *reaktor jądrowy*, w którym energia jądrowa przemienia się w energię cieplną.

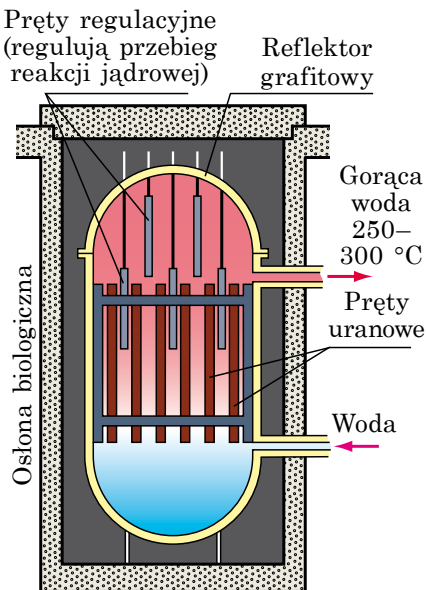
Reaktor jądrowy – to urządzenie służące do wykonywania kontrolowanej łańcuchowej reakcji rozpadu, której zawsze towarzyszy wydzielanie się energii.

W reaktorach jądrowych (rys. 26.3) paliwo jądrowe (uran lub pluton) znajdują się w środku tzw. *prętów regulacyjnych*. Produkty rozpadu ogrzewają pręty, które przekazują energię wodzie, która z kolei w danym przypadku jest moderatorem. Otrzymana energia następnie przemienia się w elektryczną (rys. 26.4) podobnie jak odbywa się to na zwykłych elektrowniach ciepłych.

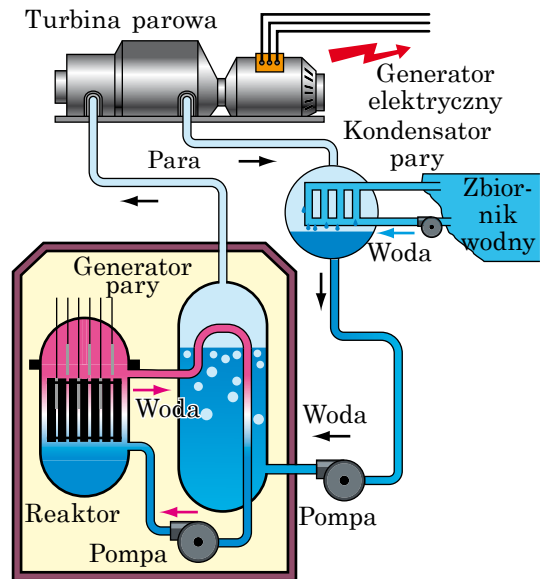
Aby można było kontrolować łańcuchową reakcję jądrową i uniemożliwić jej wybuch, stosowane są *pręty regulacyjne*, sporządzone z materiału, dobrze pochłaniającego neutrony. Jeżeli temperatura w reaktorze zwiększa się, rozwinięciu jądrowej reakcji łańcuchowej zapobiegają pręty regulacyjne, wykonane z kadmu, mającego właściwość bardzo intensywnego pochłaniania neutronów termicznych. Łańcuchowa reakcja jądrowa spowalnia się.

3 Dowiadujemy się o reakcji termojądrowej

Wyjaśniliśmy, że na skutek rozpadu ciężkich jąder powstają pierwiastki środkowej części Układu Okresowego pierwiastków chemicznych D. Mendelejewa i wydzielona jest energia (rys. 26.5, a). Energię nazywamy jądrową dlatego, że jest ona „schowana” w jądrze atomu. Wiadomo, że jeżeli chcielibyśmy ponownie połączyć odłamki rozpadu, trzeba byłoby zużyć taką samą energię.



Rys. 26.3. Schemat budowy reaktora jądrowego



Rys. 26.4. Zasada działania elektrowni atomowej

? Przypomnij sobie, jakie fundamentalne prawo fizyki jest podstawą ostatniego twierdzenia.

Jeżeli weźmiemy jądra izotopów pierwiastków lekkich Deuteru i Trytu, na skutek ich syntezy będzie wydzielana energia* (rys. 26.5, b).

Reakcję syntezy jąder lekkich w bardziej ciężkie, zachodząca przy bardzo wysokich temperaturach (powyżej 10^7 °C) i której towarzyszy wydzielanie się energii nazywamy **syntezą termojądrową**.

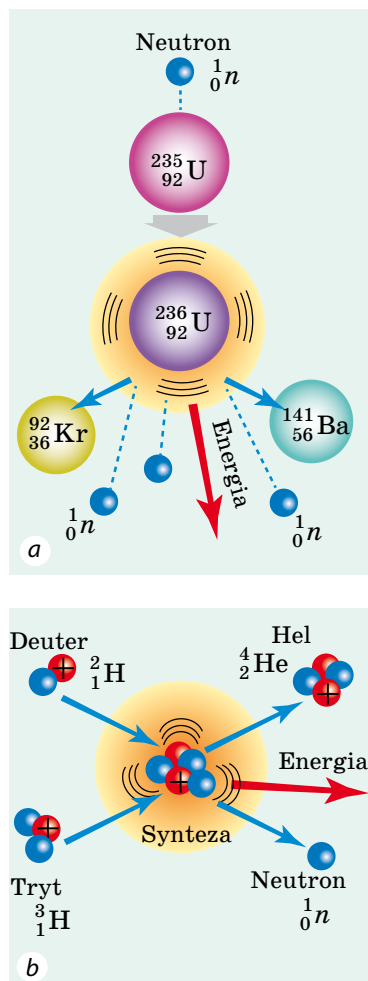
Wysokie temperatury, czyli duże kinetyczne energie jąder niezbędne są do tego, aby pokonać siły elektrycznego odpychania jąder (równomiernie naładowanych cząstek). Bez tego niemożliwe jest przybliżenie lekkich jąder na takie odległości, na których zaczynają działać jądrowe siły przyciągania.

W przyrodzie reakcje termojądrowe zachodzą wewnątrz gwiazd, gdzie izotopy Hydrogenium zamieniają się na Helium (patrz rys. 26.5, b). W taki sposób na skutek reakcji termojądrowych, które zachodzą wewnątrz Słońca, co sekundy wypromieniowuje ono w przestrzeń kosmiczną $3,8 \cdot 10^{26}$ J energii. Jest to ogromna energia – aby ją uzyskać, należy spalić tysiące razy więcej węgla, niż posiadają go zasoby Ziemi.

Termojądrowe reakcje, to są prawie niewyczerpalne źródła energii. Fizycy nauczyli się już stwarzać warunki do przebiegu takich reakcji, jednak stosowanie ich na skalę przemysłową pozostaje na razie na poziomie doświadczeń.

4 Uczymy się rozwiązywać zadania

Zadanie. Oblicz masę Uranium-235, którą zużywa w ciągu doby reaktor elektrowni atomowej, jeżeli elektryczna moc odpowiedniego bloku elektrowni wynosi 1000 MW, a jego sprawność – 30 %. Masa jednego jądra Uranium-235 wynosi $3,9 \cdot 10^{-25}$ kg, a podczas każdego rozpadu wydziela się $3,2 \cdot 10^{-11}$ J energii.



Rys. 26.5. I rozpadowi ciężkich jąder (a), i syntezie lekkich jąder (b) towarzyszy wydzielanie się energii

* Dana właściwość tłumaczy się różną właściwą energią wiązania jąder atomowych, o której dowiesz się w starszych klasach.

Analiza problemu fizycznego, poszukiwanie modelu matematycznego

Aby rozwiązać zadanie wykorzystamy definicję sprawności: $\eta = \frac{E_{\text{uż}}}{E_{\text{całk}}}$.

$E_{\text{uż}}$ – to energia elektryczna, którą produkuje blok elektrowni atomowej w ciągu doby: $E_{\text{uż}} = P_{\text{uż}} \cdot t$ (czas t w sekundach); $E_{\text{całk}}$ – całkowita energia, która wydzieli się w reaktorze: $E_{\text{całk}} = E_0 \cdot N$, gdzie E_0 – energia, która wydzieli się podczas rozpadu jednego jądra, N – ilość jąder, które uległy rozpadowi.

Ilość jąder w paliwie jądrowym podamy poprzez masę paliwa (m) i masę jednego jądra (m_0): $N = \frac{m}{m_0}$.

Dane:

$$t = 1 \text{ doba} = 1 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}$$

$$P_{\text{uż}} = 1000 \text{ MW} =$$

$$= 1 \cdot 10^9 \text{ W}$$

$$\eta = 30\% = 0,3$$

$$m_0 = 3,9 \cdot 10^{-11} \text{ kg}$$

$$E_0 = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

Znaleźć:

m – ?

Rozwiązanie

Według definicji sprawności: $\eta = \frac{E_{\text{uż}}}{E_{\text{całk}}}$, gdzie

$$E_{\text{uż}} = P_{\text{uż}} \cdot t; E_{\text{całk}} = E_0 \cdot N = \frac{E_0 \cdot m}{m_0}$$

Po przekształceniu wyrażeń otrzymamy:

$$\eta = \frac{P_{\text{uż}} \cdot t \cdot m_0}{E_0 \cdot m}$$

Skąd obliczymy masę paliwa jądrowego: $m = \frac{P_{\text{uż}} \cdot t \cdot m_0}{E_0 \cdot \eta}$.

Sprawdzamy jednostkę, obliczamy wartość szukanej wielkości:

$$[m] = \frac{\text{W} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}}{\text{J}} = \frac{\text{J/s} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}}{\text{J}} = \frac{\text{J} \cdot \text{kg}}{\text{J}} = \text{kg};$$

$$m = \frac{1 \cdot 10^9 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 3,9 \cdot 10^{-25}}{3,2 \cdot 10^{-11} \cdot 0,3} = \frac{10^9 \cdot 24 \cdot 36 \cdot 10^2 \cdot 39 \cdot 10^{-25}}{32 \cdot 10^{-12} \cdot 3} = 3,5 \text{ (kg)}.$$

Odpowiedź: $m = 3,5 \text{ kg}$.

Stąd widać, że nawet jeden blok elektrowni atomowej produkuje energii o wiele więcej, niżeli zużywa duże miasto. Rzeczywiście, w ciągu doby jeden blok elektrowni atomowej produkuje: $E_{\text{uż}} = P_{\text{uż}} \cdot t = 1000 \text{ MW} \cdot 24 \text{ h} = 24 \text{ 000 MW} \cdot \text{h}$ energii, a, na przykład Kijów latem zużywa w ciągu doby tylko $300 \text{ MW} \cdot \text{h}$.



Podsumowanie

Pochłanianie przez jądro Uranium neutronu powoduje rozpad jądra. Danej reakcji towarzyszy uwalnianie się neutronów znajdujących się w jądrze, które z kolei powodują rozpad następných jąder Uranium – zachodzi łańcuchowa reakcja jądrowa i wydziela się olbrzymia energia. Proces przemiany energii jądrowej na ciepłą zachodzi w reaktorach jądrowych – urządzeniach wykorzystywanych do wykonania kontrolowanej łańcuchowej reakcji rozpadu.

Energia wydziela się również podczas syntezy niektórych lekkich jąder. Taką reakcję nazywamy termojądrową, bo do jej przebiegu niezbędna jest wysoka temperatura. Termojądrowe reakcje syntezy zachodzą we wnętrzach gwiazd. Obecnie uczeni pracują nad stworzeniem reaktorów termojądrowych – urządzeń przeznaczonych do otrzymania energii na skutek reakcji termojądrowej syntezy lekkich jąder, która zachodzi w plazmie przy bardzo wysokich temperaturach (powyżej 10^7 °C).

Pytania kontrolne



1. Jakie procesy zachodzą na skutek pochłaniania neutronu przez jądro Uranium?
2. Opisz mechanizm łańcuchowej reakcji jądrowej.
3. Jakie przekształcenia energii zachodzą w reaktorach jądrowych?
4. Jak pracuje elektrownia atomowa?
5. Jaki proces nazywamy syntezą termojądrową?
6. Skąd „biorą” energię gwiazdy?

Ćwiczenie nr 26



1. W słoneczny dzień na każdy 1 m^2 otwartej poziomej powierzchni co sekundy trafia 650 J energii słonecznej. Ile energii słonecznej w ciągu godziny trafia na dach budynku, jeżeli pole dachu wynosi 100 m^2 ? Ile (w kg) suchego drewna należy spalić, aby otrzymać taką samą ilość energii, która trafiła na dach budynku od słońca (ciepło właściwe spalania suchego drewna – 10 MJ/kg)? Zastanów się, gdzie tobie mogą przydać się dane obliczenia.
2. Jaką ilość energii otrzymujemy podczas rozpadu 1 g Uranium-235, jeżeli podczas rozpadu każdego jądra wydziela się energia równa $3,2 \cdot 10^{-11} \text{ J}$?
3. Moc reaktora atomowego łodołamacza – $80\,000 \text{ kW}$. Reaktor zużywa Uranium-235 w ilości 500 g na dobę. Oblicz sprawność reaktora.
4. Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się, kiedy była przeprowadzona pierwsza kontrolowana łańcuchowa reakcja jądrowa; kiedy i gdzie stworzono pierwszy przemysłowy reaktor jądrowy; czy istnieją na naszej planecie miejsca, gdzie zachodzą naturalne łańcuchowe reakcje jądrowe.

Fizyka i technika na Ukrainie

Instytut badań jądrowych PAN Ukrainy (Kijów) – czołowa instytucja naukowa w dziedzinie fizyki jądrowej i energetyki atomowej. Instytut stworzono w 1970 r. na bazie jądrowych oddziałów Instytutu fizyki AN Ukrainy. Założycielem i pierwszym dyrektorem Instytutu był akademik PAN Ukrainy *M. Pasicznyk*. Z czasem na czele instytucji stali akademicy PAN Ukrainy *A. Niemiec*, *I. Wysznewski*, od roku 2015 dyrektorem Instytutu jest *W. Sli-senko*.

Główne kierunki pracy Instytutu – fundamentalne badania fizyki jądrowej niskich i średnich energii, fizyki reaktorów, teorii jądra, jądrowej spektroskopii, elektroniki jądrowej, fizyki radioaktywnej, syntezy termojądrowej, fizyki plazmy, a także wzajemnego oddziaływania neutronów, protonów, deuteronów, alfa-cząstek i ciężkich jąder z jądrami prawie wszystkich pierwiastków Układu Okresowego pierwiastków chemicznych D. Mendelejewa.

Pod kierownictwem uczonych w instytucie zostały założone znane szkoły naukowe: fizyki neutronowej, fizyki reakcji jądrowych z cząstkami naładowanymi, mikroskopicznej teorii jądra, jądrowej spektroskopii, nieprzyspieszającej fizyki cząstek elementarnych.

Uczeni instytutu zrobili wielki wkład w usunięcie skutków awarii na elektrowni atomowej w Czarnobylu.

§ 27. ENERGETYKA ATOMOWA UKRAINY. PROBLEMY EKOLOGICZNE ENERGETYKI ATOMOWEJ

Wielka zaleta paliwa jądrowego w porównaniu z tradycyjnym (gaz, nafta, węgiel) polega na tym, że energetyczna wydajność paliwa jądrowego jest miliony razy wyższa (2 mln razy wyższa od nafty, 3 mln razy od węgla). Oprócz tego zapasy paliwa jądrowego są dziesięciokrotnie większe od węglowodorowych rodzajów paliwa, a jego spalanie nie wymaga tlenu. Jednak wykorzystanie paliwa jądrowego jest powiązane z pewnymi trudnościami.



Rys. 27.1. Pręty paliwowe – część reaktora, urządzenie, które zawiera paliwo jądrowe (Uran)

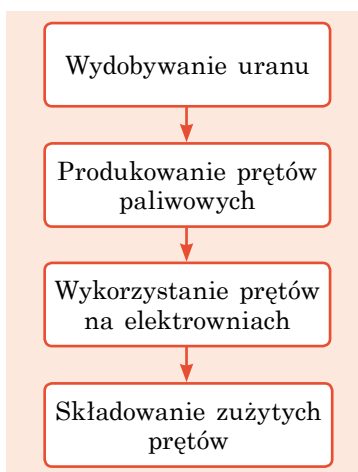
1 Dowiadujemy się o cyklu jądrowym

Dla otrzymania kilograma paliwa o niskiej wydajności energetycznej, na przykład kilograma drewna, wystarczy pójść do lasu. Lecz aby otrzymać kilogram paliwa jądrowego, należy stworzyć cały przemysł. Oprócz tego, po spalaniu kilograma drewna popiół można po prostu rozrzucić, a co zrobić z prętami paliwowymi (rys. 27.1), które wyczerpały się? Przecież w prętach uranowych zachodzi łańcuchowa reakcja jądrowa i dlatego zawierają one dużą ilość radioaktywnych odłamków o długim półokresie rozpadu.

Kolejność czynności wydobywania paliwa jądrowego z rudy, produkowania prętów paliwowych, wykorzystywanie prętów paliwowych na elektrowniach atomowych i następnie przeróbka radioaktywnych odpadów nazywana jest **cyklem jądrowym** (rys. 27.2).

Pod względem ilości zapasów rud uranowych Ukraina posiada 11 miejsce w świecie. Tych zapasów wystarczy na kilka stuleci. Jednak aby przerobić rudę na paliwo jądrowe, sporządzić pręty uranowe, niezbędny jest szczególny przemysł (łańcuch powiązanych ze sobą przedsiębiorstw), którego Ukraina w pełni nie posiada. Dla ukraińskich elektrowni atomowych pręty uranowe są produkowane za granicą.

Po rozpadzie pewnej ilości paliwa jądrowego w pręcie uranowym (fizycy mówią: „pręt wypalił się”), jest on wymieniany na nowy. Wykorzystane pręty są bardzo radioaktywne, dlatego są one składowane głęboko pod ziemią w specjalnych pojemnikach, gdzie one mogą być przechowywane przez setki lat.



Rys. 27.2. Schemat cyklu jądrowego

Obecnie na Ukrainie tylko Zaporoska elektrownia atomowa (rys. 27.3) posiada własną przechowalnię wykorzystanych prętów. Pręty z innych elektrowni atomowych są wywożone do Rosji, za co nasze państwo ponosi wielkie koszty. Jest planowane zbudowanie przechowalni dla wykorzystanych prętów paliwowych w 30-kilometrowej strefie wokół elektrowni w Czarnobylu, przecież ten teren jeszcze długo nie będzie się nadawał do życia ludzi. Oprócz tego, miejsca dla przechowalni można będzie udzielać również innym państwom.

? Podaj swoje „za” i „przeciw” budownictwa takiej przechowalni.

2 Dowiadujemy się o atomowej energetyce Ukrainy

Ukraina należy do tych krajów świata, w których dzięki obecności wysokich technologii i wykształconych inżynierów i uczonych stworzona jest i sukcesywnie rozwija się energetyka atomowa. Obecnie w kraju pracują cztery elektrownie atomowe: Zaporoska, Równieńska, Południowo-Ukraińska, Chmielnicka (rys. 27.3–27.6). W tych elektrowniach pracuje 15 atomowych bloków energetycznych, ogólna moc których wynosi 13 580 MW. Na dane elektrownie przypada około połowy energii elektrycznej produkowanej w kraju.

Elektrownie są obsługiwane przez wielotyśne załogi wykształconych fachowców. Faktycznie wokół każdej elektrowni atomowej powstało niewielkie miasto.

Obecność na Ukrainie źródeł energii elektrycznej, pracujących na paliwie jądrowym znacznie zmniejsza deficyt „zwykłych” źródeł energii: gazu, ropy naftowej, węgla kamiennego.

Każdy mieszkaniec kojarzy elektrownie atomowe z pojęciem „radiacja”. Jednak, jak pokazują badania, największy wpływ radiacji na człowieka odbywa się na skutek działania naturalnych źródeł radiacji, podczas badań medycznych i leczenia. Radiacja powiązana z „prawidłowym” rozwojem energetyki jądrowej, stanowi tylko małą część radiacji, spowodowanej działalnością człowieka.



Rys. 27.3. Zaporoska elektrownia atomowa – największa elektrownia atomowa w Europie, w której pracuje 6 atomowych bloków energetycznych



Rys. 27.4. Równieńska elektrownia atomowa ma cztery atomowe bloki energetyczne



Rys. 27.5. Południowo-Ukraińska elektrownia atomowa ma trzy atomowe bloki energetyczne



Rys. 27.6. Chmielnicka elektrownia atomowa ma 2 atomowe bloki energetyczne

Z przykrością można powiedzieć, że historia ludzkości nalicza jednak kilka przypadków anomalnego toku wydarzeń w reaktorach jądrowych. Skutki tych przypadków są tragiczne.

3 Przypominamy historię tragedii w Czarnobylu

26 kwietnia 1986 roku zapisało się czarnymi barwami w historii Ukrainy. W tym dniu wydarzyła się awaria w 4-m bloku energetycznym elektrowni atomowej w Czarnobylu (rys. 27.7). Kierownictwo elektrowni zgodziło się na wypróbowanie reaktora jądrowego w trybie zmiany mocy, co nie było przewidziane konstrukcją reaktora. W wyniku tego zaszło niekontrolowane uwalnianie się energii jądrowej wewnątrz reaktora, co doprowadziło do wybuchu.

Wybuch spowodował pożar i katastroficzny wyrzut radioaktywnych substancji w 4-m bloku energetycznym. Pożar trwał 10 dni, zniszczył część paliwa jądrowego oraz produktów jego rozpadu i uniósł je wraz z gazami spalinowymi na olbrzymią wysokość, skąd stopniowo opadały na Ziemię, powodując skażenie.

W wyniku czego całe regiony Rosji, Ukrainy, Białorusi stały się radiacyjnie zanieczyszczone, a z 30-kilometrowej strefy wokół elektrowni wysiedlono wszystkich mieszkańców.

Później nad zniszczonym reaktorem wybudowano tzw. *sarkofag* – osłonę betonową, która chroni przed dalszym rozpowszechnianiem się zanieczyszczenia radiacyjnego (rys. 27.8).

Obecnie żaden z bloków energetycznych elektrowni atomowej w Czarnobylu nie działa; wspólnie z międzynarodowymi organizacjami Ukraina zbudowała jeszcze jeden, bardziej doskonały, sarkofag. Minęło już 30 lat od czasu tragedii, jednak skutki radiacyjnego skażenia w strefie elektrowni atomowej są odczuwalne do dzisiaj.



Rys. 27.7. Czwarty blok energetyczny elektrowni atomowej w Czarnobylu przed wybuchem (a) i po wybuchu (b)



Rys. 27.8.
Sarkofag nad
4-m blokiem
energetycznym
elektrowni atomo-
wej w Czarnobylu

Podobna awaria miała miejsce w Japonii 2011 roku – w elektrowni atomowej „Fokushima 1”. Na skutek trzęsienia ziemi i tsunami przestały pracować pompy regulujące pręty paliwowe, co spowodowało ich przegrzanie się i doprowadziło do uszkodzenia reaktora atomowego. Substancja radiacyjna zanieczyściła środowisko naturalne.

Obecnie ludzkość znajduje się przed dylematem: stopniowe wyczerpanie się tradycyjnych źródeł energii zachęca do rozwoju energetyki atomowej, razem z tym nikt nie jest zabezpieczony przed awariami, nawet takie rozwinięte państwa jak Japonia. W Niemczech rząd zabronił rozwijać energetykę atomową.

? Jakie jest twoje zdanie na ten temat? Pomyśl nad „za” i „przeciw”.



Podsumowanie

Kolejność czynności wydobywania paliwa jądrowego z rudy, sporządzanie prętów paliwowych, wykorzystanie ich w elektrowniach atomowych i następną przeróbka odpadów radioaktywnych nazywa się cyklem jądrowym.

Obecnie na Ukrainie pracują 4 elektrownie atomowe o ogólnej mocy 13 580 MW. Na elektrownie atomowe przypada prawie połowa energii elektrycznej produkowanej w kraju. Jeżeli elektrownia pracuje „prawidłowo” (wykorzystane pręty paliwowe zachowywane są w przechowalniach, nie ma zrywów w pracy reaktora, wykonano wszystkie czynności przewidywane w instrukcjach), to prawie nie wywiera ona radiacyjnego wpływu na środowisko naturalne.

26 kwietnia 1986 r. stała się awaria na elektrowni atomowej w Czarnobylu – wybuch w 4-m bloku. Spowodował on największe w świecie radiacyjne skażenie dużych terenów m.n. Rosji, Ukrainy i Białorusi. Skutki tego skażenia odczuwamy do dzisiaj. Podobna awaria miała miejsce na elektrowni atomowej „Fokushima 1” w Japonii w 2011 roku.



Pytania kontrolne

1. Podaj zalety i wady wykorzystania paliwa jądrowego. **2.** Jaka jest kolejność czynności cyklu jądrowego? **3.** Wymień nazwy elektrowni atomowych na Ukrainie. Podaj ich ogólną moc. **4.** Co wiesz o tragedii w Czarnobylu?

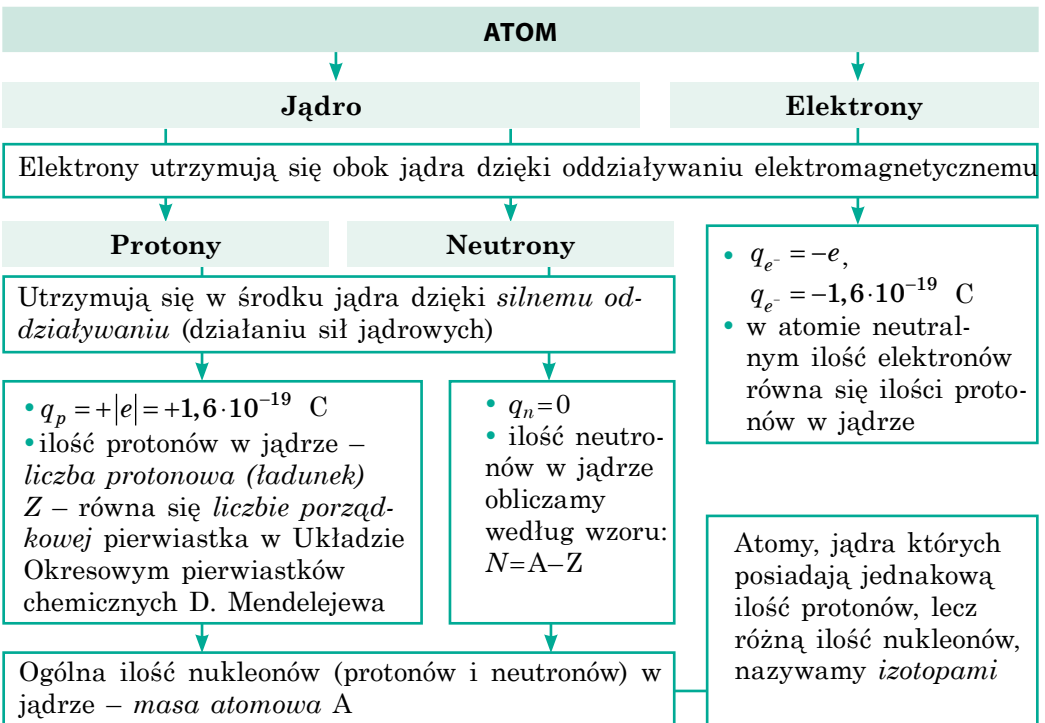
Ćwiczenie nr 27

1. W elektrowni Chmielnickiej pracują reaktory o mocy elektrycznej 440 MW i mocy cieplnej 1375 MW. Oblicz sprawność tych reaktorów.
2. W dwóch blokach Równieńskiej elektrowni atomowej pracują reaktory o mocy elektrycznej 440 MW, w kolejnych dwóch blokach – reaktory o mocy elektrycznej 1000 MW. Ile energii (w kWh) może wyrabiać elektrownia w ciągu doby, pracując na pełnej mocy?
3. Ile energii w ciągu doby produkuje Zaporoska elektrownia atomowa, jeżeli jeden z jej bloków znajduje się w remoncie, a reszta pracuje na pełnej mocy? Ciepłota moc każdego reaktora w elektrowni wynosi 3000 MW, sprawność – 33,3 %.
4. Ile kilogramów Uranium-235 spalają w ciągu doby reaktory Południowo-Ukraińskiej elektrowni, jeżeli ciepłota moc każdego reaktora wynosi 3000 MW? Podczas rozpadu jednego jądra Uranium-235 wydzielają się $3,2 \cdot 10^{-11}$ J energii, która całkowicie jest przekazywana moderatorowi (wodzie).
5. Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się o rozwoju energetyki atomowej na Ukrainie.

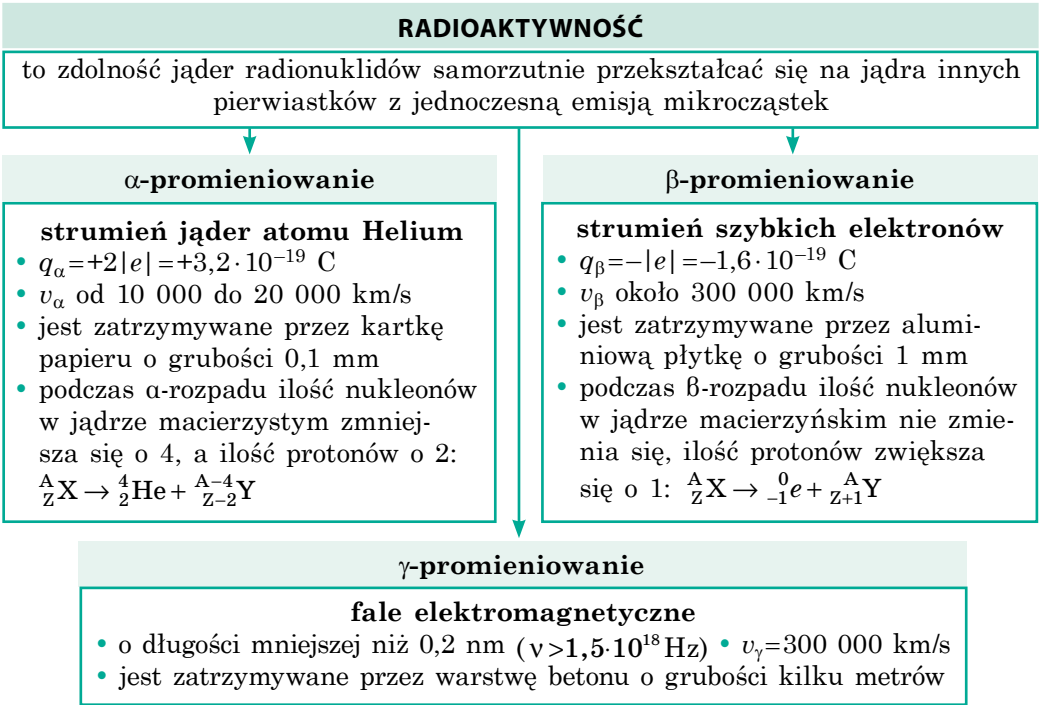
PODSUMOWANIE ROZDZIAŁU IV

„Fizyka atomu i jądra atomowego. Fizyczne podstawy energetyki atomowej”

1. Badając rozdział IV przypomniałeś sobie o *budowie atomu i jądra atomowego*, dowiedziałeś się o *siłach jądrowych*.



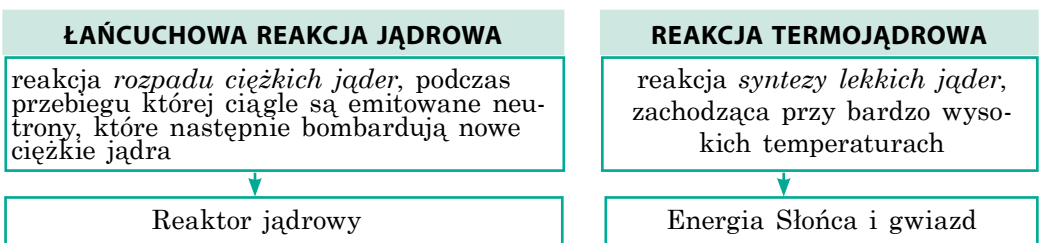
2. Dowiedziałeś się w jaki sposób odkryto *zjawisko radioaktywności*, *wyjaśniłeś naturę promieniowania radioaktywnego*.



3. Zapoznałeś się z *wielkościami fizycznymi* charakteryzującymi promieniowanie radioaktywne, radionuklidy i próbki radioaktywne.

Wielkość fizyczna	Wzory	Jednostka		Łączność jednostek
		SI	pochodna	
Aktywność próbki	$A = \lambda N$	bekerel (Bq)	kiur (Ci)	1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq
Pochłonięta dawka	$D = W / m$	grej (Gy)	rad (rad)	1 rad = 0,01 Gy
Dopuszczalna dawka	$H = KD$	siwert (Sv)	ber (ber)	1 ber = 0,01 Sv

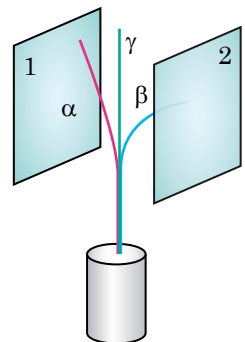
4. Wyjaśniłeś, że na skutek pochłaniania neutronu przez ciężkie jądro odbywa się *samorzutny rozpad jądra z emitowaniem energii* i dowiedziałeś się, że *reakcji syntezy lekkich jąder* również towarzyszy *wydzielanie się energii*.



ZADANIA DO ROZDZIAŁU IV**„Fizyka atomu i jądra atomowego. Fizyczne podstawy energetyki atomowej”**

Zadania 1–8, 10 zawierają jedną prawidłową odpowiedź.

- (1 punkt) W jądrze atomu Beryllium znajdują się 4 protony i 5 neutronów. Ile elektronów zawiera atom Beryllium?
 - 1 elektron;
 - 4 elektrony;
 - 5 elektronów;
 - 9 elektronów.
- (1 punkt) W jądrze pierwiastka chemicznego znajdują się 33 protony i 43 neutrony. Określ ten pierwiastek?
 - Technetium
 - Arsenicum
 - Uranium
 - Aurum.
- (1 punkt) Na podstawie doświadczeń z α -cząstkami E. Rutherford:
 - zapropozował neutronowo-protonowy model jądra atomowego;
 - wyjaśnił zjawisko radioaktywności;
 - wyjaśnił mechanizm łańcuchowej reakcji jądrowej;
 - podał jądrowy model budowy atomu.
- (1 punkt) Podczas α -rozpadu dowolnego pierwiastka powstaje jądro atomu pierwiastka, który w Układzie Okresowym pierwiastków chemicznych D. Mendelejewa znajduje się:
 - o dwie kratki w lewo;
 - o dwie kratki w prawo;
 - o jedną kratkę w prawo;
 - o jedną kratkę w lewo.
- (2 punkty) Ładunek jądra atomu pierwiastka chemicznego wynosi $3,2 \cdot 10^{-19}$ C. Jaki to jest pierwiastek?
 - Kalium
 - Helium
 - Lithium
 - Germanium.
- (2 punkty) Wiązka promieniowania radioaktywnego przechodząc między płytami naładowanymi rozdziela się (patrz rys.). Określ znak ładunku każdej płyty?
 - Płyta 1 „+”, Płyta 2 „-”;
 - Płyta 1 „-”, Płyta 2 „+”;
 - Płyta 1 „+”, Płyta 2 „+”;
 - Płyta 1 „-”, Płyta 2 „-”.
- (2 punkty) Oblicz aktywność próbki radioaktywnej, jeżeli w ciągu godziny rozpada się w niej $7,2 \cdot 10^{10}$ jąder. Aktywność próbki jest stała.
 - $7,2 \cdot 10^{10}$ Bq;
 - $1,2 \cdot 10^9$ Bq;
 - $3,6 \cdot 10^8$ Bq;
 - $2 \cdot 10^7$ Bq.
- (2 punkty) Termojądrowa reakcja syntezy zachodzi pod warunkiem:
 - Pochłaniania przez jądro neutronu;
 - Wysokiej temperatury;
 - Niskiego ciśnienia;
 - Obecności ciężkich jąder.



9. (3 punkty) Dopasuj definicje pomiędzy ilością cząstek nuklidu a nuklidem.
- | | |
|-----------------|--------------------------------------|
| 1 70 elektronów | A Neon ${}_{10}^{21}\text{Ne}$ |
| 2 57 protonów | B Gallium ${}_{31}^{70}\text{Ga}$ |
| 3 57 neutronów | C Ruthenium ${}_{44}^{101}\text{Ru}$ |
| 4 70 nukleonów | D Lanthanum ${}_{57}^{140}\text{La}$ |
| | E IHerbium ${}_{70}^{173}\text{Yb}$ |
10. (3 punkty) Która z podanych niżej reakcji jądrowych jest reakcją β -rozpadu?
- a) ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1n \rightarrow \text{X}$; c) ${}_{90}^{234}\text{Th} \rightarrow \text{X} + {}_{91}^{234}\text{Pa}$;
- b) ${}_{90}^{230}\text{Th} \rightarrow \text{X} + {}_{88}^{226}\text{Ra}$; d) ${}_{1}^3\text{T} + {}_{1}^2\text{D} \rightarrow \text{X} + {}_{2}^4\text{He}$.
11. (3 punkty) Radon ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ ulega dwóm α - i dwóm β -rozpadom. Jądro jakiego pierwiastka powstaje przy tym?
12. (3 punkty) Próbkę zawiera $1,6 \cdot 10^{10}$ jąder izotopu Bismuthum ${}_{83}^{214}\text{Bi}$, półokres rozpadu którego wynosi 20 min. Ile jąder Bismuthumu pozostaje w próbce po upływie 1 godziny?
13. (3 punkty) Na dany moment czasu w próbce radioaktywnej znajduje się $2 \cdot 10^{-10}$ mol Radu. Ile jąder Radium rozpada się w ciągu następnej sekundy? Stała radioaktywnego rozpadu Radium $\lambda = 1,37 \cdot 10^{-11} \text{ c}^{-1}$.
14. (4 punkty) Średnia dawka promieniowania pochłonięta przez pracownika, pracującego przy urządzeniu rentgenowskim wynosi $7 \mu\text{Gy}$ w ciągu jednej godziny. Czy może on bezpiecznie pracować przez 200 dni w ciągu roku po 6 godzin dziennie, jeżeli minimalna dopuszczalna dawka napromieniowania wynosi 50 mGy na rok? Wiadomo, że naturalne tło radioaktywne wynosi 2 mGy na rok.
15. (4 punkty) Na skutek trzech α - i dwóch β -rozpadów pewnego jądra macierzystego powstaje jądro Polonium ${}_{84}^{213}\text{Po}$. Wyznacz jądro macierzyste.
16. (4 punkty) Oblicz, jaką masę Uranium-235 zużywa w ciągu doby elektrownia atomowa o mocy 2 GW, jeżeli jej sprawność wynosi 25%, a podczas każdego rozpadu jądra ${}_{92}^{235}\text{U}$ wydziela się $3,2 \cdot 10^{-11} \text{ J}$ energii.

Sprawdź swoje odpowiedzi na pytania z podanymi na końcu podręcznika. Zaznacz zadania, na które odpowiedziałeś prawidłowo i określ sumę punktów, następnie podziel tę sumę przez trzy. Otrzymany wynik będzie odpowiadał poziomowi twojej wiedzy.



Dodatkowe zadania testowe, sprawdzane przez komputer odnajdziesz na stronie internetowej „Nauczanie interaktywne”.



Rys. 1. Urządzenie do radiacyjnej terapii

Od doświadczeń Rutherforda do leczenia chorób

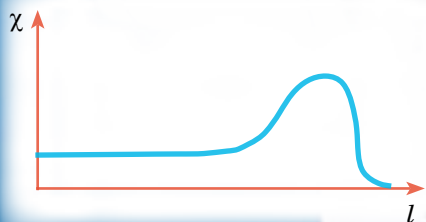
Większość mieszkańców naszego państwa, pamiętając o awarii w elektrowni atomowej w Czarnobylu, bardzo ostrożnie odnosi się do słowa „radiacja”. Badając rozdział IV dowiedziałeś się, że promieniowanie radioaktywne jest niebezpieczne. Jednak, jeżeli przestrzegać reguł bezpieczeństwa, kontrolować poziom tła radioaktywnego, momentalnie reagować na to niebezpieczeństwo, to można je zmniejszyć.

Czy może radiacja być pożyteczną dla organizmu żywego? Okazuje się, że w przypadku niektórych chorób w celu ratowania życia pacjenta medycy faktycznie wyrażają mu krzywdę. Na przykład, obecnie powszechnie stosowana jest metoda napromieniowania pacjenta γ -promieniowaniem o wysokiej przenikalności (rys. 1, 2). Jednak podczas napromieniowania chorego wewnętrznego narządu pacjenta, naświetlają się także i inne zdrowe części ciała.

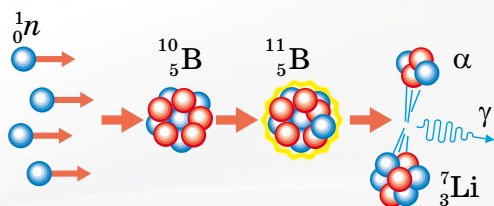
Naturalnym było pragnienie fizyków rozwiązać dany problem. Pierwsze takie rozwiązanie to stosowanie innego typu promieniowania. Okazało się, że przyspieszone do dużych prędkości protony mają przewagę przed γ - i α -promieniowaniem. Wiadomo, że protony maksymalnie działają w miejscach, w pobliżu których zatrzymują się, w innych punktach swego toru poziom porażenia jest niższy (rys. 3). Zmieniając energię protonu, można zmieniać miejsca ich zatrzymania się tak, aby wypadały one na chore komórki. Wtedy, jak widać z rys. 3, poziom uszkodzenia zdrowych tkanek będzie niższy, niżeli chorych. Przy tym dawka napromieniowania odcinka przed „pagórkem” jest dziesięciokrotnie niższa, a za „pagórkem” w ogóle równa się



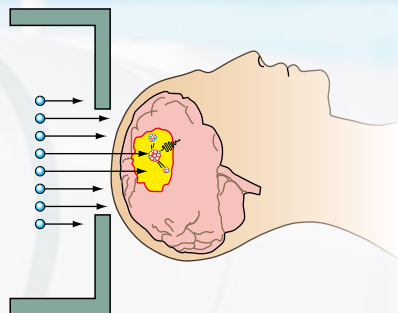
Rys. 2. Podczas badań personel medyczny znajduje się w pomieszczeniach z osłoną radiacyjną



Rys. 3. Schemat zależności stopnia uszkodzenia tkanek (χ) od głębokości przeniknięcia (l) protonów



Rys. 4. Schemat reakcji jądrowej podczas trafiaania neutronu w jądro Boru



Rys. 5. Schemat przeprowadzenia BNZT przy nowotworach mózgu

zeru. Niestety, niezwykle kosztowne urządzenie – przyspieszacz protonów, nie pozwala na powszechne stosowanie danej metody.

Jeszcze jedna metoda napromieniowania chorych tkanek – *bor-neutron-zagarniająca terapia* (BNZT) – zaproponowana stosunkowo niedawno. Wielką zaletą BNZT jest jej dokładność. Porównując z terminologią „wojskową”, napromieniowanie γ -promieniowaniem jest podobne do bombardowania dużych terenów, a napromieniowanie protonami – z obstrzałem przeciwnika raketami, gdy dokładność trafiaania zwiększa się. Zresztą BNZT warto porównać z „agentem 007”, który bezbłędnie likwidował wyłącznie przeciwnika.

Idea BNZT jest następująca. Głównym w terapii jest *jądro Boru*. Ono, jak genialny bramkarz, umie „łapać” neutrony o wiele lepiej, niż inne jądra. Dlatego przy napromieniowaniu tkanek neutronami jądro Boru potrafi „złapać” neutron nawet wtedy, gdy będzie ich przelatywało bardzo niewiele. Jądra innych pierwiastków prawie nie odczuwają napromieniowania, czyli szkodliwą dawkę napromieniowania neutronami uda się zmniejszyć do minimum.

Po tym, jak jądro Boru „zagarnie” neutron, dozna ono radioaktywnej przemiany i rozpadnie się na jądro Litium i α -cząstkę (rys. 4), które mają energię kinetyczną, wystarczającą do niszczenia tylko jednej komórki. Więc, gdy skierujemy jądro Boru bezpośrednio na chorą komórkę, to po „wybuchu” tylko ona zostanie zniszczona (rys. 5). Jądra Boru są dostarczane przez specjalne środki farmaceutyczne.

Proponowane tematy projektów

1. Zapoznanie się z pracą dozymetru.
2. Układanie radiacyjnej mapy regionu.
3. Radiologiczna analiza miejscowych produktów spożywczych.
4. Ekologiczne problemy energetyki jądrowej.
5. Rozszczepienie atomu: skrzynia Pandory czy ogień Prometeusza?
6. Przyszłość Słońca i innych gwiazd.

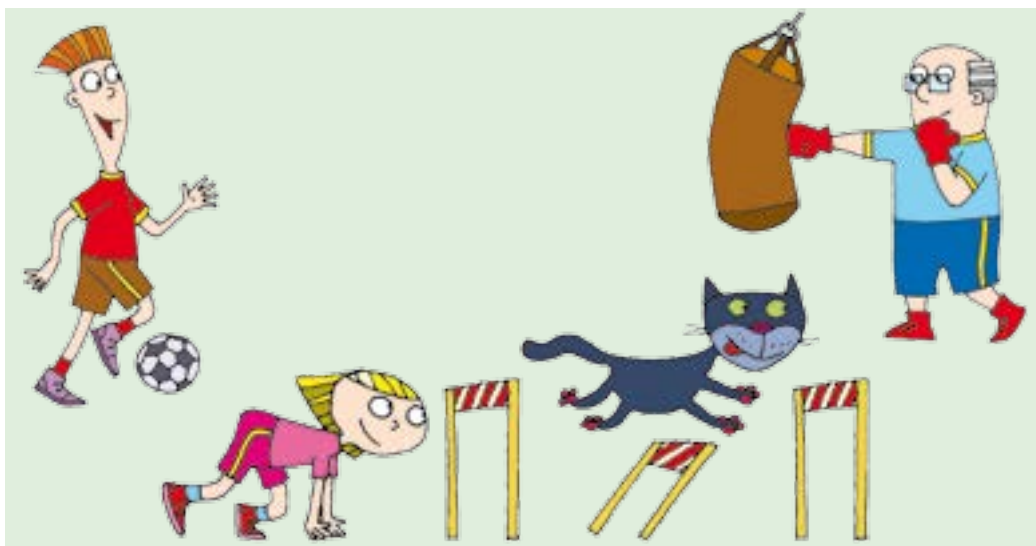
Tematy referatów

1. Wielki zderzacz hadronów – droga do badania budowy Wszechświata.
2. Historia atomu: od Demokryta do Rutherforda.
3. Cegiełki materii lub czym są kwarki.
4. Sukces naukowy Piotra i Marii Curie (historia odkrycia Radu).
5. W jaki sposób Rutherford wyjaśnił naturę α -cząstek.
6. Historia stworzenia reaktora jądrowego.
7. Pierwsze elektrownie atomowe.
8. Sposoby zabezpieczenia reaktorów atomowych.
9. Czarnobyl i Fukushima – dwie wielkie awarie jądrowe: co mają wspólnego i czym się różnią.
10. Reaktor termojądrowy – reaktor przyszłości.
11. Historia bomby atomowej.
12. Historia pozyskania sztucznych radioaktywnych izotopów.
13. Zastosowanie sztucznych radioaktywnych izotopów.
14. Jądrowo-fizyczne metody określania wieku archeologicznych wykopalisk.
15. Czym są wanny z radonem.
16. Naturalna radioaktywność – bezpieczna czy niebezpieczna.
17. Chronologia ery atomowej.
18. Atomowe elektrownie na Ukrainie.
19. Atomowa energetyka świata.

ROZDZIAŁ V

RUCH I ODDZIAŁYWANIE WZAJEMNE. PRAWA ZACHOWANIA

- Już wiesz, w jaki sposób określana jest droga podczas ruchu ciała ze stałą prędkością, dowiesz się w jaki sposób określamy drogę, gdy ciało spowalnia lub przyspiesza swój ruch;
- Słyszałeś przysłowie – „Jak Kuba Bogu, tak Bóg Kubie”, a teraz dowiesz się, która zasada Newtona formułuje się podobnie.
- Wiesz, że podczas chodzenia odpychasz się od powierzchni drogi. Dowiesz się od czego odpycha się rakieta, poruszając się w przestrzeni kosmicznej.
- Wiesz, że prędkość ruchu samochodu mierzymy za pomocą szybkościomierza. Teraz dowiesz się, jak sporządza się urządzenie do mierzenia prędkości ruchu kuli.
- Wiesz o zasadzie zachowania energii – dowiesz się o zasadzie zachowania pędu.





§ 28. RUCH JEDNOSTAJNIE PRZYSPIESZONY PROSTOLINIOWY. PRZYSPIESZENIE. PRĘDKOŚĆ W RUCHU JEDNOSTAJNIE PRZYSPIESZONYM PROSTOLINIOWYM

Badając fizykę w klasie 7. dowiedziałeś się o ruchu mechanicznym i o jego najprostszym rodzaju – jednostajnym ruchu prostoliniowym. *Rozdział mechaniki, który bada ruch ciał, i przy tym nie uwzględnia przyczyn, które powodują ten ruch, nazywamy kinematyką* (od greckiego słowa *kinematos* – ruch). Kontynuując badanie kinematyki, dowiemy się o ruchu jednostajnie przyspieszonym prostoliniowym i o wielkościach fizycznych, które go charakteryzują. Najpierw przypomnijmy sobie podstawowe pojęcia kinematyki.

1 Powtarzamy kinematykę

Ruch mechaniczny – jest to zmiana z czasem położenia ciał lub ich części w przestrzeni względem innych ciał.

? Rozpatrzmy rys. 28.1. Względem jakich ciał poruszają się przedstawione na rysunku ciała? Względem jakich ciał znajdują się one w stanie spoczynku. Dla czego ruch mechaniczny nazywamy względnym?

Opisując ruch mechaniczny ciała nie uwzględnialiśmy ruchu odrębnych jego punktów, a zwracaliśmy się do mechanicznego modelu ciała – *punktu materialnego*. W dalszym ciągu, rozwiązując zadania na ruch mechaniczny ciała, będziemy uważać ciało za punkt materialny.

Punkt materialny jest modelem ciała, w którym pomijamy jego rozległość przestrzenną i całą jego masę przypisujemy jednemu punktowi.

? W jakim przypadku ciała przedstawione na rys. 28.1, można uważać za punkty materialne?

W zależności od kształtu **toru** rozróżniamy ruchy krzywoliniowe i prostoliniowe. Długość toru równa się drodze, którą pokonuje ciało. **Droga** l – jest to skalarna wielkość fizyczna. **Przemieszczenie** \vec{s} – jest to skierowany odcinek prostej, łączący początkowe i końcowe położenie ciała – jest to wektorowa wielkość fizyczna (rys. 28.2).

Jeżeli ciało za dowolne równe odcinki czasu wykonuje jednakowe przemieszczenia, to taki ruch mechaniczny nazywamy **prostoliniowym jednostajnym**. Prędkość \vec{v} ruchu nie zmienia się co do wartości, co do kierunku; kierunek wektora prędkości jest zgodny z kierunkiem przemieszczenia ($\vec{v} \uparrow \vec{s}$); wartość bezwzględna prędkości



Rys. 28.1. Przykłady mechanicznego ruchu ciała

jednostajnego ruchu prostoliniowego oblicza się według wzoru $v = \frac{s}{t}$.

Wykorzystując zatem wiedzę otrzymaną w poprzednich latach, kontynuujemy badanie kinematyki.

2 Co nazywamy przyspieszeniem

Przeprowadźmy proste doświadczenie, dla którego będzie nam potrzebne długie drewniane korytko i kulka. Połóżmy do korytka kulkę i podnieśmy go. Kulka zacznie staczać się (rys. 28.3, a). Widzimy, że im dalej kulka będzie znajdować się od górnego brzegu korytka, tym większą odległość ona pokona w ciągu jednej sekundy. Znaczy to, że prędkość ruchu kulki z czasem zwiększa się.

Powtórzmy doświadczenie, zwiększając kąt nachylenia korytka (rys. 28.3, b), – w tym przypadku prędkość kulki zwiększa się szybciej. Mówi się, że kulka porusza się z większym przyspieszeniem.

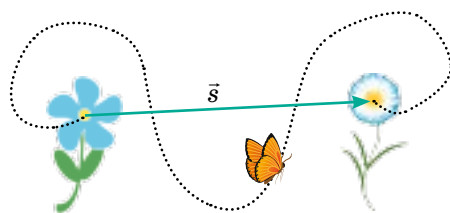
Przyspieszenie jest wielkością fizyczną, która wskazuje na szybkość zmiany prędkości ruchu ciała. Jego wartość otrzymamy dzieląc wartość przyrostu prędkości przez czas, w którym ten przyrost nastąpił:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t},$$

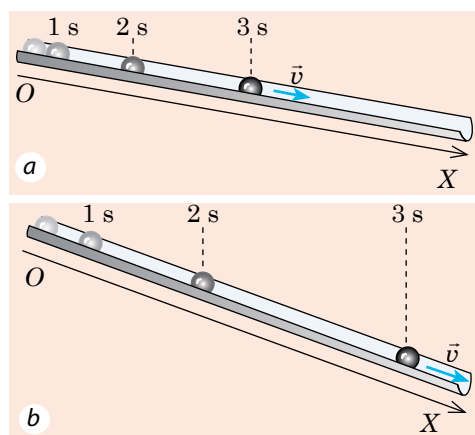
gdzie \vec{a} – przyspieszenie ruchu ciała; \vec{v}_0 – początkowa prędkość (prędkość ruchu ciała w początkowym momencie czasu); \vec{v} – prędkość ruchu ciała po upływie czasu t .

Aby uniknąć złożonych działań matematycznych z wektorami, będziemy stosować dany wzór, zapisany przez rzuty na osi współrzędnych (na przykład na oś OX):

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$$

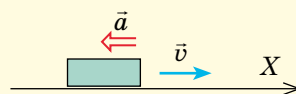


Rys. 28.2. Przemieszczenie wskazuje na to, w jakim kierunku i na jaką odległość przesuwa się ciało za określony odcinek czasu



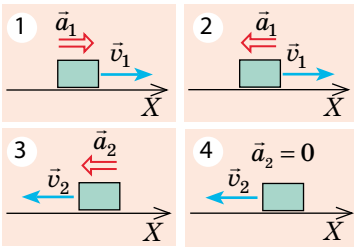
Rys. 28.3. Położenie kulki, staczającej się korytkiem przez 1 s, 2 s, 3 s od początku ruchu

Powtórzmy matematykę



- Jeżeli kierunek wektora jest zgodny z kierunkiem osi współrzędnych, to rzut wektora na oś równa się wartości bezwzględnej wektora.
- Jeżeli kierunek wektora jest przeciwny do kierunku osi współrzędnych, to rzut wektora na oś równa się wartości bezwzględnej wektora, wziętej ze znakiem „-”.

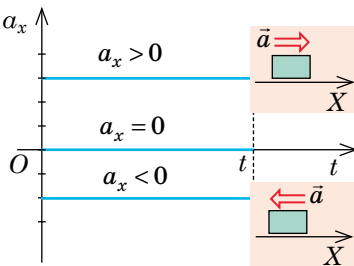
Dla przypadku, podanego na rysunku: $a_x = -a$; $v_x = v$.



Rys. 28.4. Do zadania w § 28



Rys. 28.5. Idąc do szkoły zwiększasz lub zmniejszasz prędkość ruchu, czasami też spowalniaś swój ruch, a w określonych odcinkach czasu poruszasz się z prędkością stałą



Rys. 28.6. Wykres zależności $a_x(t)$ dla ruchu prostoliniowego jednostajnie przyspieszonego

Jednostką przyspieszenia w SI jest metr na sekundę do kwadratu:

$$[a] = \frac{1 \text{ m/s}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Kierunek przyspieszenia jest zgodny z kierunkiem sił wypadkowych, działających na ciało.

- Jeżeli przyspieszenie jest skierowane w kierunku ruchu ciała ($\vec{a} \uparrow \vec{v}$), to prędkość ruchu ciała zwiększa się (wypadkowa – rozpędza ciało).
- Jeżeli przyspieszenie jest skierowane przeciwko ruchowi ciała ($\vec{a} \uparrow \downarrow \vec{v}$), to prędkość ruchu ciała zmniejsza się (wypadkowa – spowalnia ciało).
- Jeżeli $a=0$, to siły działające na ciało równoważą się i ciało porusza się jednostajnie prostoliniowo lub znajduje się w stanie spoczynku.

? Dla każdego wypadku (rys. 28.4) wyjaśnij, zwiększa się czy zmniejsza się prędkość ruchu ciała w dany moment czasu. Podaj przykłady.

3 Dowiadujemy się, jaki ruch nazywamy jednostajnie przyspieszonym

Jeżeli ciało porusza się ruchem niejednostajnym, to jego prędkość z czasem ciągle zmienia się, przy czym w równych odcinkach czasu prędkość ruchu ciała zmienia się po różnemu (rys. 28.5). W tym roku będziesz badać najprostsz ruch – ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony, dowiesz się o tym, że ruch taki odbywa się wyłącznie przy warunku, że wypadkowa sił, przyłożonych do ciała jest stała.

Ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym nazywamy ruch, podczas którego prędkość ruchu ciała zmienia się jednakowo za równe odcinki czasu.

Innymi słowy, *ruch jednostajnie przyspieszony – jest to ruch, podczas którego ciało porusza się torem prostoliniowym ze stałym przyspieszeniem*. Podczas takiego ruchu przyspieszenie ciała z czasem nie zmienia się, dlatego wykres zależności $a_x(t)$ jest odcinkiem prostej równoległej do osi czasu (rys. 28.6).

4 Jak obliczamy prędkość ruchu ciała w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym

Jeżeli ciało porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym, to prędkość jego ruchu ciągle zmienia się. Dlatego, mówiąc o prędkości ruchu ciała, będziemy mówić o *prędkości chwilowej*.

Prędkość chwilowa – jest to prędkość ruchu ciała w danym momencie czasu, w danym punkcie toru.

Ze wzoru na obliczenie przyspieszenia łatwo możemy otrzymać wzór na obliczenie prędkości ruchu ciała w dowolnym momencie czasu. Tak jak $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$, to

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$$

Wykorzystamy wzór, zapisany przez rzuty na oś OX , skierowaną wzdłuż toru ruchu ciała:

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

Jeżeli jest dane równanie rzutu prędkości ruchu ciała, to jest dana prędkość początkowa (\vec{v}_0), i przyspieszenie (\vec{a}) ruchu ciała.

Na przykład, równanie rzutu prędkości jest zapisane w postaci: $v_x = 20 - 3t$. To znaczy, że $v_{0x} = 20$ m/s (początkowa prędkość równa się 20 m/s, a jej kierunek jest zgodny z kierunkiem osi OX); $a_x = -3$ m/s² (przyspieszenie równa się 3 m/s², a znak „-” wskazuje, że kierunek przyspieszenia jest przeciwny do kierunku osi OX).

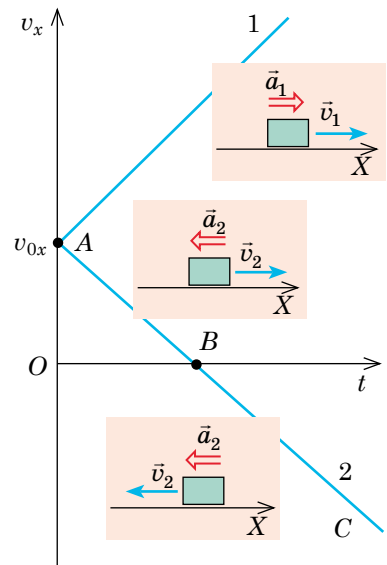
? Oblicz początkową prędkość i przyspieszenie ruchu ciała, jeżeli równanie rzutu prędkości jest zapisane w postaci: $v_x = -10 + 2t$.

Zależność $v_x = v_{0x} + a_x t$ jest liniowa, dlatego wykres rzutu prędkości – wykres zależności $v_x(t)$ – jest to odcinek prostej, nachylonej pod kątem do osi czasu (rys. 28.7).

W momencie $t = 0$ prędkość ruchu ciała równa się jego prędkości początkowej ($v_x = v_{0x}$), czyli wykres $v_x(t)$ bierze swój początek na osi rzędnych w punkcie o współrzędnych $(0; v_{0x})$.

Jeżeli rzut przyspieszenia jest dodatni ($a_x > 0$), to wykres prędkości jest skierowany do góry (wykres 1 na rys. 28.7). Jeżeli rzut przyspieszenia jest ujemny ($a_x < 0$), to wykres prędkości jest skierowany w dół (wykres 2 na rys. 28.7).

Zwróć uwagę: punkt B wykresu 2 na rys. 28.7 – to **punkt przejściowy**.



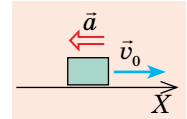
Rys. 28.7. 7 Wykresy zależności $v_x(t)$ dla ruchu prostoliniowego jednostajnie przyspieszonego. Ciało 1 ciągle zwiększa prędkość swego ruchu: $\vec{a}_1 \uparrow \vec{v}_1$. Ciało 2 najpierw spowalnia swój ruch: $\vec{a}_2 \uparrow \vec{v}_2$ (odcinek AB), następnie zatrzymuje się (punkt B) i zwiększa swoją prędkość poruszając się w przeciwnym kierunku, tak jak $\vec{a}_2 \uparrow \vec{v}_2$ (odcinek BC)

5 Uczymy się rozwiązywać zadania

Zadanie 1. Samochód, poruszający się z prędkością 90 km/h, zatrzymuje się przed światłami. Oblicz czas hamowania samochodu, jeżeli porusza się on ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem 5 m/s².

Analiza problemu fizycznego. Samochód zatrzymuje się, dlatego jego prędkość końcowa równa się zeru ($v = 0$), kierunek wektora przyspieszenia jest przeciwny do kierunku prędkości.

Zilustrujmy zadanie za pomocą rysunku, na którym zaznaczymy oś współrzędnych (jej kierunek niech będzie zgodny z kierunkiem ruchu), kierunek prędkości początkowej i kierunek przyspieszenia ruchu samochodu.



Dane:

$$\begin{aligned} v_0 &= 90 \text{ km/h} = \\ &= 25 \text{ m/s} \\ a &= 5 \text{ m/s}^2 \\ v &= 0 \end{aligned}$$

Znaleźć:

$t - ?$

Poszukiwanie modelu matematycznego, rozwiązywanie:

O ile ruch jest jednostajnie przyspieszony, to $v_x = v_{0x} + a_x t$.
Za pomocą rysunku opiszemy dane równanie:

$$v_{0x} = v_0, \quad a_x = -a, \quad v_x = 0, \quad \text{więc:}$$

$$0 = v_0 - at \Rightarrow v_0 = at \Rightarrow t = \frac{v_0}{a}.$$

Sprawdzamy jednostkę, obliczamy wartość szukanej wielkości:

$$[t] = \frac{\text{m} \cdot \text{s}^2}{\text{s} \cdot \text{m}} = \text{s}; \quad t = \frac{25}{5} = 5 \text{ (s)}.$$

Odpowiedź: $t = 5 \text{ s}$.

Zadanie 2. Ciało poruszało się prostoliniowo wzdłuż osi OX . Według wykresu zależności $v_x(t)$ (rys. 28.8): 1) opisz ruch ciała; 2) zapisz równanie rzutu prędkości ruchu; 3) narysuj wykres zależności rzutu przyspieszenia ruchu od czasu.

Analiza problemu fizycznego, rozwiązywanie.

1. Wykres $v_x(t)$ – jest linią prostą, więc ruch ciała jest jednostajnie przyspieszony.

W ciągu pierwszych 4 s ciało poruszało się w kierunku przeciwnym do kierunku osi OX (rzut prędkości jest ujemny), prędkość ruchu ciała zmniejszała się.

W momencie czasu $t = 4 \text{ s}$ ciało zatrzymało się, po czym kontynuowało swój ruch w kierunku przeciwnym (znak rzutu prędkości zmienia się na przeciwny).

W ciągu następnych 3 s ciało poruszało się w kierunku osi OX , prędkość jego ruchu zwiększała się.

2. Zapiszemy równanie rzutu prędkości ruchu w ogólnej postaci:

$$v_x = v_{0x} + a_x t.$$

Opiszemy dane równanie:

a) z wykresu widać, że rzut prędkości początkowej: $v_{0x} = -8 \text{ m/s}$.

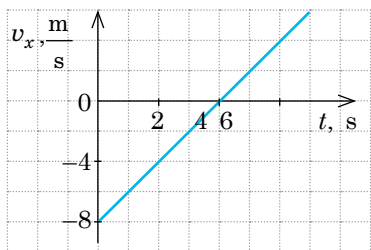
b) na wykresie wybieramy dowolny punkt, na przykład punkt o współrzędnych $t = 4 \text{ s}$ i $v_x = 0$, i szukamy rzutu przyspieszenia:

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t} = \frac{0 - (-8 \text{ m/s})}{4 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2;$$

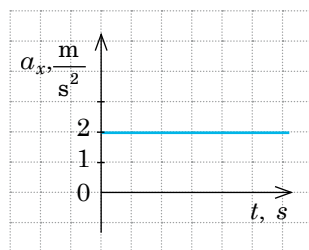
c) podstawiamy otrzymane wartości do równania rzutu prędkości ruchu:

$$v_x = -8 + 2t.$$

3. Przyspieszenie jest stałe ($a_x = 2 \text{ m/s}^2$), dlatego wykres $a_x(t)$ – jest linią prostą równoległą do osi czasu i znajdującą się powyżej tej osi (rys. 28.9).



Rys. 28.8. Do zadania 2 w § 28



Rys. 28.9. Do zadania 2 w § 28



Podsumowanie

Ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym nazywamy taki ruch, w którym prędkość ciała w dowolnych równych odstępach czasu zmienia się jednakowo. Przyspieszenie \vec{a} – jest to fizyczna wielkość wektorowa, która określa szybkość zmiany prędkości ruchu ciała i równa się ilorazowi zmiany prędkości ruchu i czasu, w którym ta zmiana zaszła: $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$.

Jednostką przyspieszenia w układzie SI jest metr na sekundę do kwadratu (m/s^2).

Dla ruchu jednostajnie przyspieszonego:

- wykres rzutu przyspieszenia $a_x(t)$ – linia prosta, równoległa do osi czasu;
- prędkość ruchu zmienia się liniowo: $v_x = v_{0x} + a_x t$;
- wykres rzutu prędkości ruchu $v_x(t)$ – odcinek prostej, nachylonej pod kątem do osi czasu.



Pytania kontrolne

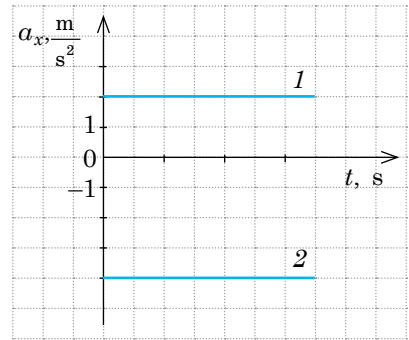
1. Podaj definicję ruchu prostoliniowego jednostajnie przyspieszonego. 2. Co nazywamy przyspieszeniem ciała? 3. Podaj jednostki przyspieszenia w układzie SI. 4. Jaka linia jest wykres zależności $a_x(t)$ dla ruchu prostoliniowego jednostajnie przyspieszonego? 5. Napisz równania zależności $v_x(t)$ dla ruchu prostoliniowego jednostajnie przyspieszonego. Jaka linia jest wykresem tej zależności? 6. Jak porusza się ciało, jeżeli kierunek jego przyspieszenia: a) jest zgodny z kierunkiem prędkości ruchu? b) jest przeciwny do kierunku prędkości ruchu? Jak porusza się ciało, jeżeli jego przyspieszenie równa się zero?



Ćwiczenie nr 28

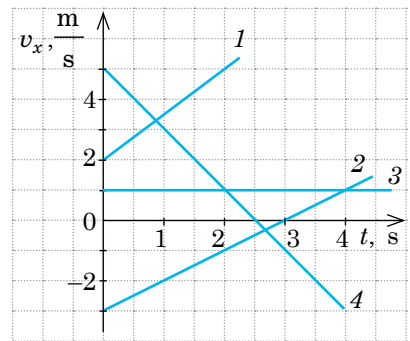
1. Czy może ciało poruszać się z dużą prędkością, ale z małym przyspieszeniem?
2. Samochód rusza z miejsca i w ciągu 10 s od początku ruchu osiąga prędkość 15 m/s. Z jakim przyspieszeniem porusza się samochód?
3. Kulkę pechają do góry wzdłuż równi pochyłej z prędkością 2 m/s. Oblicz prędkość ruchu kulki w ciągu 0,5 s; w ciągu 1 s; w ciągu 1,5 s od początku ruchu, jeżeli przyspieszenie ruchu kulki równa się 2 m/s^2 . Wyjaśnij wyniki.

4. Rowerzysta, poruszając się ruchem prostoliniowym ze stałym przyspieszeniem $0,2 \text{ m/s}^2$ w ciągu 25 s osiąga prędkość 5 m/s . Oblicz początkową prędkość ruchu rowerzysty?
5. Za ile czasu autobus zmienia prędkość od 54 km/h do 5 m/s ? Przyspieszenie autobusu jest stałe i wynosi $0,5 \text{ m/s}^2$.
6. Dane równania rzutów prędkości ruchu dla trzech ciał, poruszających się wzdłuż osi OX : a) $v_x = 2 + t$; b) $v_x = -20 + 5t$; c) $v_x = 10 - 3t$. Wszystkie wielkości zapisane są w jednostkach SI. Wyjaśnij dla każdego ciała: 1) jak poruszało się ciało; 2) prędkość początkową i przyspieszenie ruchu ciała; 3) jeżeli ciało zatrzyma się, to w ciągu jakiego czasu.
7. Rys. 1 ilustruje wykresy zależności $a_x(t)$ dla dwóch ciał. Napisz równanie zależności $v_x(t)$ dla każdego ciała. Narysuj wykresy tych zależności, jeżeli $v_{01x} = -4 \text{ m/s}$, $v_{02x} = 8 \text{ m/s}$.



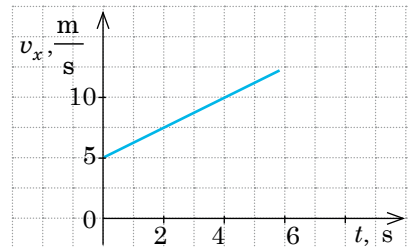
Rys. 1

8. Rys. 2 ilustruje wykresy zależności $v_x(t)$ dla czterech ciał. Napisz równanie zależności $v_x(t)$ dla każdego ciała. Napisz równania rzutów prędkości ruchu dla każdego ciała, narysuj wykres zależności $a_x(t)$.
9. Ciało przez dłuższy czas porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym. Rys. 3 przedstawia wykres zależności $v_x(t)$ ruchu ciała w pewnym momencie czasu. Oblicz czas, w którym ciało zmienia kierunek prędkości ruchu.



Rys. 2

10. Za pomocą rysunku 3, oblicz drogę, którą pokonuje ciało w ciągu pierwszych 4 sekund od początku obserwacji.



Rys. 3



§ 29. PRZEMIESZCZENIE W RUCHU JEDNOSTAJNIE PRZYSPIESZONYM. RÓWNANIE WSPÓŁRZĘDNEJ

Prawdopodobnie niejednokrotnie oglądałeś w telewizji jak podczas wypadku drogowego policja drogowa mierzy szlak hamowania. W jakim celu to robią? Aby obliczyć prędkość ruchu samochodu na początku hamowania i przyspieszenie podczas hamowania. Następnie wykorzystają te dane w celu wyjaśnienia przyczyn wypadku: czy kierowca przewyższył prędkość, czy hamulce były zepsute, czy może z samochodem było wszystko w porządku, a do wypadku doszło z winy pieszego, który nie przestrzegał zasad ruchu drogowego. W jaki sposób można obliczyć prędkość i przyspieszenie ruchu ciała, znając czas i drogę hamowania, dowiesz się w tym paragrafie.

1 Dowiadujemy się o przemieszczeniu w ruchu jednostajnie przyspieszonym

W 7. klasie dowiedziałeś się, że w ruchu jednostajnie przyspieszonym przemieszczenie jest liczbowo równe polu figury pod wykresem zależności rzutu prędkości ruchu ciała od czasu obserwacji. Identycznie wygląda rzut przemieszczenia (rys. 29.1).

Otrzymamy wzór ruchu jednostajnie przyspieszonego za okres czasu od $t_1 = 0$ do $t_2 = t$. Rozważmy ruch jednostajnie przyspieszony, w którym prędkość początkowa i przyspieszenie mają jednakowy kierunek z osią OX . W tym wypadku wykres zależności prędkości ma postać, przedstawioną na rys. 29.2, *a* zależności przemieszczenia jest liczbowo równa polu trapezu $OABC$:

$$S_{OABC} = \frac{OA + BC}{2} \cdot OC.$$

Na wykresie odcinek OA jest rzutem prędkości początkowej v_{0x} , odcinek BC – rzutem końcowej prędkości v_x , odcinek OC – odstęp czasu t . Po niezbędnych przekształceniach odcinków na odpowiednie wielkości fizyczne i uwzględniając, że $s_x = S_{OABC}$, otrzymamy wzór, który wyjaśnia *geometryczny sens przemieszczenia w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym*:

$$s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} \cdot t \quad (1)$$

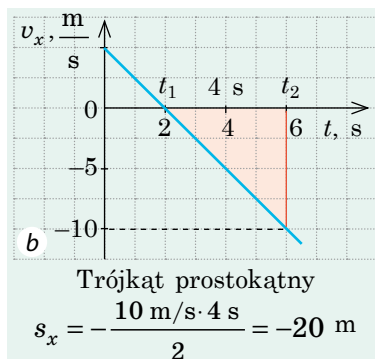
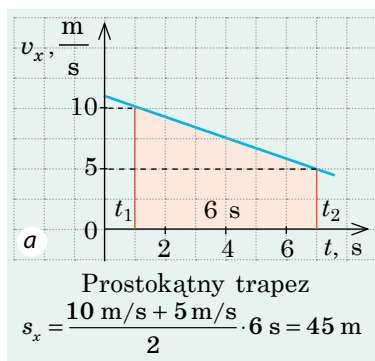
Zaznaczmy, że wzór (1) będzie prawdziwy dla dowolnego jednostajnie przyspieszonego ruchu prostoliniowego.

? Wykorzystując wzór (1), określ przemieszczenie ciała, wykres ruchu którego jest przedstawiony na rys. 29.1, *b* po 2 s i po 4 s od początku obliczania czasu.

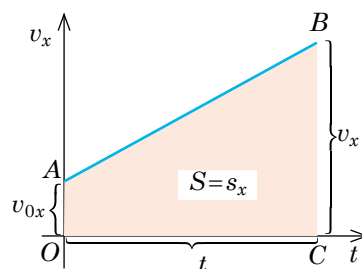
2 Zapisujemy równanie przemieszczenia w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym

Odrzućmy zmienną v_x z równania (1) i przypominajmy, że rzut prędkości w ruchu jednostajnie przyspieszonym oblicza się według wzoru: $v_x = v_{0x} + a_x t$. Podstawiając wyrażenie dla v_x do wzoru (1), otrzymamy:

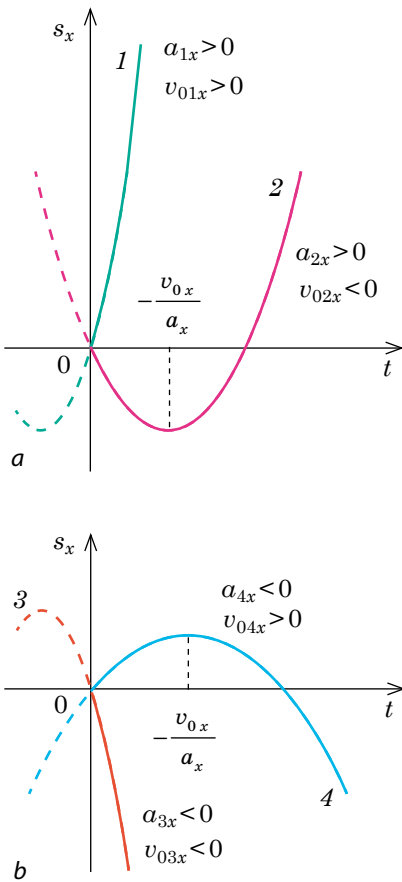
$$s_x = \frac{v_{0x} + v_{0x} + a_x t}{2} \cdot t = \frac{2v_{0x} + a_x t}{2} \cdot t = v_{0x} t + \frac{a_x}{2} t^2.$$



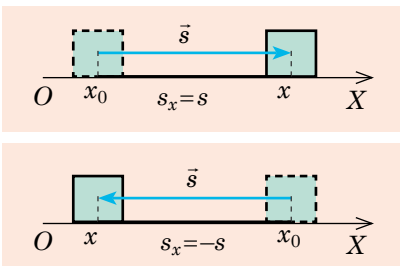
Rys. 29.1. Geometryczny sens przemieszczenia: rzut przemieszczenia liczbowo równa się polu figury ograniczonej wykresem $v_x(t)$, osią czasu i prostymi $t=t_1$ i $t=t_2$. $s_x > 0$, jeżeli figura znajduje się nad osią czasu (*a*); $s_x < 0$, jeżeli figura znajduje się pod osią czasu (*b*)



Rys. 29.2. Do wyprowadzenia wzoru przemieszczenia ruchu jednostajnie prostoliniowego



Rys. 29.3. Wykres rzutu przemieszczenia w przypadku jednostajnie przyspieszonego ruchu prostoliniowego – to parabola, która przechodzi przez początek: jeżeli $a_x > 0$, to jest ona odwrócona do góry (a); jeżeli $a_x < 0$, odwrócona w dół (b)



Rys. 29.4. Wybór osi współrzędnych w przypadku ruchu prostoliniowego.

Zatem dla jednostajnie przyspieszonego ruchu prostoliniowego otrzymamy **równanie rzutu przemieszczenia**:

$$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2 \quad (2)$$

Ponieważ wielkości v_{0x} i a_x nie zależą od czasu ruchu, to zależność $s_x(t)$ jest kwadratowa. Na przykład, jeżeli $v_{0x} = 2$ m/s, a $a_x = -1$ m/s², to równanie $s_x(t)$ będzie wyglądało tak: $s_x = 2t - 0,5t^2$.

Zatem *wykresem rzutu przemieszczenia* w przypadku jednostajnie przyspieszonego ruchu prostoliniowego jest **parabola** (rys. 29.3), wierzchołek której odpowiada punktowi:

$$v_x = 0 \Rightarrow v_{0x} + a_x t = 0 \Rightarrow t = -\frac{v_{0x}}{a_x},$$

gdzie t – czas odwracania się.

Wykorzystując oznaczenie przyspieszenia $a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$ i wzór $s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} \cdot t$, można otrzymać jeszcze jeden wzór do obliczenia rzutu przemieszczenia w przypadku jednostajnie przyspieszonego ruchu prostoliniowego:

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x} \quad (3)$$

Wzór (3) pozwala rozwiązywać zadania, w których nie jest dany czas ruchu ciała i nie trzeba go szukać.

? Uważamy, że wyprowadzenie wzoru (3) samodzielnie nie sprawi wam trudności.

Zwróć uwagę: w każdym z otrzymanych wzorów (1)–(3) rzuty v_x , v_{0x} i a_x . *Zwróć uwagę:* w każdym z otrzymanych wzorów \vec{v} , \vec{v}_0 i \vec{a} względem osi OX .

3 Zapisujemy równanie współrzędnej

Jedno z podstawowych zadań mechaniki polega na wyznaczeniu położenia ciała (współrzędnej ciała) w dowolnym momencie czasu. Analizujemy ruch prostoliniowy, dlatego wystarczy wybrać tylko jedną oś (na przykład, oś OX), którą należy skierować wzdłuż ruchu ciała (rys. 29.4). Na rysunku 29.4 widać, że

niezależnie od kierunku ruchu współrzędnej x ciała można wyznaczyć według wzoru:

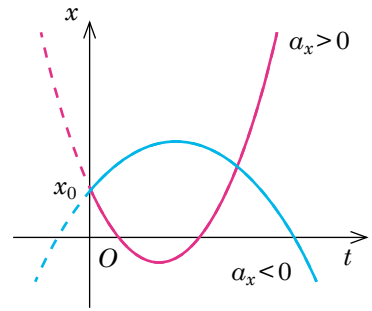
$$x = x_0 + s_x,$$

gdzie x_0 – to początkowa współrzędna (współrzędna ciała w momencie obserwacji); s_x – rzut przemieszczenia.

Dla jednostajnie przyspieszonego ruchu prostoliniowego $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2$, dlatego dla takiego ruchu **równanie współrzędnej** nabiera wyglądu:

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2$$

Analizując ostatnie równanie, wnioskujemy, że zależność $x(t)$ jest kwadratową, dlatego *wykres współrzędnej jest parabolą* (rys. 29.5).



Rys. 29.5. W przypadku jednostajnie przyspieszonego ruchu prostoliniowego wykres zależności współrzędnej od czasu – to parabola, która przecina oś x w punkcie x_0

4 Uczymy się rozwiązywać zadania

Podstawowe etapy rozwiązywania zadań na jednostajnie przyspieszony ruch prostoliniowy przeanalizujemy na podstawie przykładów.

Kolejność działań

Przykład rozwiązywania zadań

1. Uważnie przeczytaj warunek zadania. Wyjaśnij, jakie ciała uczestniczą w ruchu, jaki to rodzaj ruchu, jakie są wiadome parametry ruchu.

Zadanie 1. Od początku hamowania do zatrzymania się pociąg przebywa 225 m. Jaka była prędkość ruchu pociągu przed hamowaniem? Zakładaj, że przyspieszenie pociągu jest stałe i równa się $0,5 \text{ m/s}^2$.

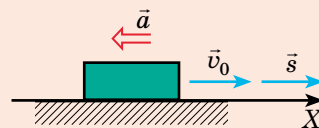
2. Napisz krótki warunek zadania. W razie potrzeby przeprowadź wartości wielkości fizycznych w jednostki SI.

Dane: $s = 225 \text{ m}$
 $a = 0,5 \text{ m/s}^2$
 $v = 0$

Znaleźć: v_0 – ?

3. Wykonaj rysunek, na którym zaznacz oś współrzędnych, kierunki prędkości ruchu, przemieszczenia, początkowej prędkości ruchu, przyspieszenia.

Na rysunku oś OX skierujemy w kierunku ruchu pociągu. Ponieważ pociąg zmniejsza swoją prędkość, to $\vec{a} \uparrow \downarrow \vec{v}_0$.



4. Ze wzorów, które opisują ruch równostajnie przyspieszony, wybierz te, które najbardziej pasują do warunku zadania.

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}; \quad v_x = v_{0x} + a_x t;$$

$$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2};$$

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}; \quad s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} t.$$

Wybrane wzory wykorzystaj dla danego zadania.

Z warunku zadania są znane a , v i s , należy znaleźć v_0 . Wszystkie te wielkości należą do wzoru $s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$.

Kierunek przemieszczenia i kierunek prędkości początkowej są zgodne z kierunkiem osi OX , dlatego $s_x = s$, $v_{0x} = v_0$.

Kierunek przyspieszenia jest przeciwny do kierunku osi OX , dlatego $a_x = -a$.

Zgodnie z warunkiem prędkość końcowa $v = 0$. Podstawiamy otrzymane dane we wzór prze-

$$\text{mieszczenia: } s = \frac{0 - v_0^2}{-2a} = \frac{v_0^2}{2a}.$$

5. Rozwiąż zadanie w ogólnej postaci.

Ze wzoru $s = \frac{v_0^2}{2a}$ oblicz prędkość v_0 –

początkową: $v_0^2 = 2as$,

skąd $v_0 = \sqrt{2as}$.

6. Sprawdź jednostkę wielkości szukanej.

$$[v] = \sqrt{\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \text{ m} = \sqrt{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = \frac{\text{m}}{\text{s}},$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 225 \cdot 0,5} = \sqrt{225} = 15 \text{ (m/s)}.$$

7. Zapisz wynik i wykonaj jego analizę.

$v_0 = 15 \text{ m/s} = 54 \text{ km/h}$ – całkiem realna prędkość ruchu dla pociągu.

8. Zapisz odpowiedź.

Odpowiedź: $v_0 = 54 \text{ km/h}$.

1. Uważnie przeczytaj warunek zadania. Wyjaśnij, jaki to rodzaj ruchu, jakie są wiadome parametry ruchu.

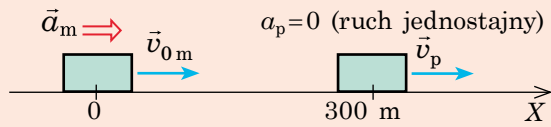
Zadanie 2. Po równym odcinku drogi porusza się pieszy ze stałą prędkością 2 m/s . Dogania go motocykl, który zwiększa prędkość, poruszając się z przyspieszeniem 2 m/s^2 . Za jaki czas motocykl wyprzedzi pieszego, jeżeli na początku odliczania czasu odległość między nimi stanowiła 300 m , a motocykl poruszał się z prędkością 22 m/s ? Jaka odległość za ten czas pokona motocykl?

2. Napisz krótki warunek zadania. W razie potrzeby przeprowadź wartości wielkości fizycznych w jednostki SI.

$$\begin{aligned} \text{Dane: } v_p &= 2 \text{ m/s} \\ a_m &= 2 \text{ m/s}^2 \\ l &= 300 \text{ m} \\ v_{0m} &= 22 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Znaleźć: $t - ?$ $s_m - ?$

3. Wykonaj rysunek, na którym zaznacz osie współrzędnych, położenie ciał, kierunki prędkości ruchu i przyspieszenia.



4. Napisz równanie współrzędnej w postaci ogólnej; skonkretyzuj to równanie dla każdego ciała posługując się rysunkiem.

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2$$

<i>Motocykl</i>	<i>Piesz</i>
$x_0 = 0,$	$x_0 = 300 \text{ m},$
$v_{0x} = 22 \text{ m/s};$	$v_x = 2 \text{ m/s};$
$a_x = 2 \text{ m/s}^2;$	$a = 0;$
$x_m = 22t + t^2.$	$x_p = 300 + 2t.$

5. Uwzględniając to, że w momencie spotkania (wyprzedzenia) współrzędne ciał były jednakowe, ułóż równanie kwadratowe.

$$x_m = x_p;$$

$$22t + t^2 = 300 + 2t;$$

$$22t + t^2 - 2t - 300 = 0 \Rightarrow t^2 + 20t - 300 = 0.$$

6. Rozwiąż równanie i wyznacz czas spotkania się ciał.

$$D = 20^2 + 4 \cdot 300 = 1600; \quad t_1 = \frac{-20 + 40}{2} = 10 \text{ (s)};$$

$$t_2 = \frac{-20 - 40}{2} = -30 \text{ (s)} - \text{zbędny pierwiastek (co wynika z warunku zadania).}$$

7. Oblicz współrzędną ciał w momencie spotkania.

$$x_m = x_p = 300 + 2t = 300 + 2 \cdot 10 = 320 \text{ (m)}.$$

8. Oblicz wielkość szukaną i zrób analizę wyniku.

Motocykl znajdował się w punkcie o współrzędnej $x_{0m} = 0$, a wyprzedził pieszego w punkcie $x_m = 320 \text{ m}$, otóż motocykl pokonał odległość 320 m. pieszy w tym czasie pokonał jedynie 20 m. Jest to realny wynik.

9. Napisz odpowiedź.

Odpowiedź: $t = 10 \text{ s}; s_m = 320 \text{ m}.$



Podsumowanie

Dla jednostajnie przyspieszonego prostoliniowego ruchu ciała:

- rzut przemieszczenia jest liczbowo równy polu figury pod wykresem zależności prędkości ruchu, – wykres zależności $v_x(t)$: $s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} \cdot t$, – na tym polega geometryczny sens przemieszczenia.
- równanie rzutu przemieszczenia zapisujemy w postaci: $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2$ – jest to funkcja kwadratowa, dlatego wykres zależności $s_x(t)$ – to parabola, wierzchołek której odpowiada punktu odwracania się.
- współrzędną ciała oblicza się z równania $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2$; wykres współrzędnej – to parabola.

Pytania kontrolne



1. Za pomocą jakich wzorów można obliczyć rzut przemieszczenia s_x dla ruchu prostoliniowego jednostajnie przyspieszonego? Wyprowadź ten wzór. 2. Udowodnij, że wykresem zależności przemieszczenia ciała od czasu obserwacji jest parabola. Jak są skierowane ramiona tej paraboli? Jakiemu momentowi ruchu odpowiada jej wierzchołek? 3. Napisz równanie współrzędnej dla ruchu prostoliniowego jednostajnie przyspieszonego. Wymień wielkości fizyczne, które łączy to równanie.

Ćwiczenie nr 29



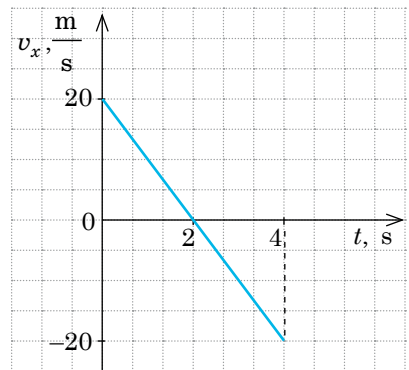
- Narciarz, poruszający się z prędkością 1 m/s, zjeżdża z góry. Oblicz długość zjazdu, jeśli narciarz przejeżdża go w czasie 10 s. Zakładaj, że przyspieszenie narciarza było stałe i równe $0,5 \text{ m/s}^2$.
- Pociąg pasażerski hamując, zmienia swoją prędkość od 54 km/h do 5 m/s. Oblicz odległość, przebytą przez pociąg podczas hamowania, jeśli przyspieszenie pociągu było stałe i równe 1 m/s^2 .
- Hamulce samochodu osobowego są w dobrym stanie, jeśli przy prędkości 8 m/s droga hamowania samochodu równa się 7,2 m. Oblicz czas hamowania i przyspieszenie ruchu samochodu.
- Równania współrzędnych dwóch ciał, które poruszają się wzdłuż osi OX , wyglądają w następujący sposób: $x_1 = 8 - 2t + t^2$; $x_2 = -2 - 5t + 2t^2$.

1) Dla każdego ciała oblicz: a) jaki jest jego ruch; b) początkową współrzędną; c) moduł i kierunek prędkości początkowej; d) przyspieszenie ruchu.

2) Oblicz czas i współrzędną spotkania się ciał.

3) Dla każdego ciała zapisz równania $v_x(t)$ i $s_x(t)$, zbuduj wykres rzutu prędkości oraz przemieszczenia.

- Na rysunku przedstawiono wykres zależności prędkości od czasu dla określonego ciała. Oblicz drogę i rzut przemieszczenia ciała w ciągu 4 s od początku mierzenia czasu. Napisz równanie współrzędnej, jeśli w momencie czasu $t = 0$ ciało znajdowało się w punkcie o współrzędnej -20 m .



- Dwa samochody wyjeżdżają z jednego punktu w jednakowym kierunku, przy czym pierwszy samochód wyjechał o 20 s później, niż drugi. Samochody poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem $0,4 \text{ m/s}^2$. Za jaki czas od początku ruchu pierwszego samochodu odległość między nimi będzie wynosiła 240 m?



- Schody ruchome w metrze poruszają się z prędkością 2,5 m/s. Czy może osoba, jadąca schodami, znajdować się w stanie spoczynku w układzie odniesienia, związanym z Ziemią? Jeśli może, to przy jakich warunkach? Czy w takich warunkach możemy uważać ruch człowieka za ruch bezwładny? Uzasadnij swoją odpowiedź.

§ 30. INERCJIALNE UKŁADY ODNIESIENIA. PIERWSZA ZASADA NEWTONA

Już wspominaliśmy o genialnym angielskim uczonym *Isaaku Newtonie* (1642–1727). Dzięki swoim wynalazkom został nawet mianowany na lorda i otrzymał tytuł rycerza. „Dla niego natura była otwartą księgą, którą czytał bez wysiłku” – pisał o nim *A. Einstein* (1879–1955). W traktacie „Matematyczne podstawy filozofii przyrody” (1687 r.) Newton sformułował „prawa ruchu” – zwane obecnie zasadami Newtona. O pierwszej zasadzie Newtona dowiesz się w tym paragrafie.

1 Przypomnijmy prawo bezwładności (inercji)

Przypomnijmy z kursu fizyki 7. klasy, przy jakich warunkach ciało znajduje się w stanie spokoju lub porusza się ruchem jednostajnie prostoliniowym. Z pewnością pamiętacie **prawo dynamiki**, które w końcu XVI w. metodą doświadczalną odkrył włoski uczony *Galileo Galilei* (Galileusz) (1564–1642):

Ciało porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym lub spoczywa, jeżeli jest ono izolowane (to znaczy, że nie działają na niego inne ciała lub gdy działania innych ciał wzajemnie się równoważą (rys. 30.1, 30.2).

? Jak uważasz, czy statek kosmiczny, znajdujący się daleko od gwiazd, po wyłączeniu silników będzie się nadal poruszał? Jeżeli będzie się poruszał, to w jaki sposób?

2 Poznajemy inercjalne układy odniesienia

Zjawisko zachowania prędkości ciała lub ruchu jednostajnie prostoliniowego, gdy nie działają na nie żadne inne ciała i pola lub działania innych ciał równoważą się, nazywamy **bezwładnością (inercją)**.

Jednak stany ruchu i spokoju zależą od wyboru układu odniesienia (UO). Czy w każdym UO obserwujemy zjawisko bezwładności?

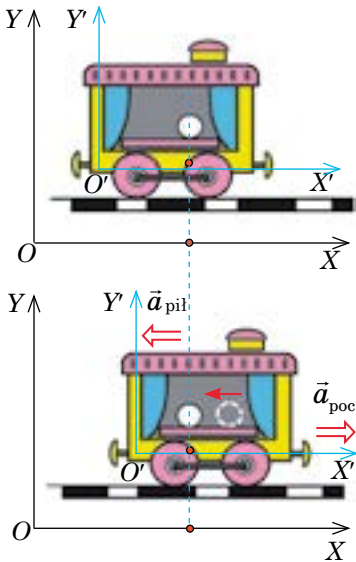
Wyobraź sobie, że znajdujesz się w przedziale pociągu, stojącego na peronie. W przedziale na stoliku leży piłeczka. Na tę piłeczkę działają dwa ciała: Ziemia i stolik. Działania Ziemi i stolika wzajemnie się równoważą i piłeczka znajduje się w stanie spokoju. Jednak w momencie, gdy pociąg



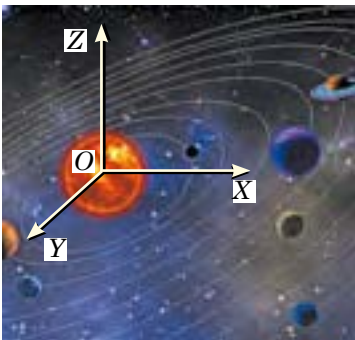
Rys. 30.1. Ciała spoczywają względem Ziemi ponieważ działanie Ziemi jest zrównoważone działaniem stołu (a); działaniem sprężyny (b)



Rys. 30.2. Przez jakiś czas spadochroniarz może poruszać się ruchem jednostajnie prostoliniowym, gdy działanie Ziemi będzie zrównoważone działaniem powietrza i linek spadochronu



Rys. 30.3. Działania na piłeczkę stolika i Ziemi wzajemnie równoważą się. Jednak: w układzie odniesienia XOY, związanym z peronem, piłeczka pozostaje w stanie spoczynku, dlatego ten UO jest inercjalny; w układzie odniesienia X'O'Y', związanym z pociągiem, który rozpoczyna swój ruch, piłeczka porusza się z przyspieszeniem, dlatego ten UO jest nieinercjalny



Rys. 30.4. Heliocentryczny układ odniesienia: początek współrzędnych tego systemu mieści się w centrum Słońca, a osie są skierowane w stronę dalekich gwiazd

zaczyna poruszać się z prędkością piłeczka zaczyna toczyć się po stole w kierunku przeciwnym do ruchu pociągu. To znaczy, że pozostając nieruchomą względem peronu, względem pociągu zaczyna się ona poruszać z przyspieszeniem (rys. 30.3). więc względem UO, związanego z pociągiem, rozpoczynającym poruszanie się z prędkością, zjawisko bezwładności nie obserwuje się (działania Ziemi i stolika na piłeczkę równoważą się, ale ona nie zachowuje swojej prędkości).

Układ odniesienia, względem którego zjawiska inercji nie obserwujemy, nazywamy **nieinercjalnym układem odniesienia**.

Układ odniesienia, względem którego obserwuje się zjawisko inercji, nazywamy **inercjalnym układem odniesienia**.

Dalej, jeżeli nie będzie specjalnych wskazań, będziemy stosować tylko inercjalne układy odniesienia UO.

Za inercjalny uznaje się UO, związany z punktem na powierzchni Ziemi. Lecz układ ten można uważać za inercjalny tylko pozornie, ponieważ Ziemia obraca się wokół swojej osi. Do bardziej dokładnych pomiarów należy wykorzystywać, na przykład inercjalny UO, związany ze Słońcem, – *heliocentrycznym układem odniesienia* (rys. 30.4).

Jeżeli znany jest nam chociażby jeden inercjalny UO, możemy wyznaczyć wiele innych. Ponieważ dowolny UO, poruszający się względem inercjalnego UO ruchem jednostajnie prostoliniowym, również jest inercjalny.

Na przykład, gdy ciało spoczywa lub porusza się z niezmienną prędkością względem Ziemi ruchem jednostajnie prostoliniowym, to względem pociągu, który porusza się względem Ziemi ze stałą prędkością, ciało również będzie poruszać się ruchem jednostajnie prostoliniowym (choć z inną prędkością).

Należy zauważyć, że w *mechanice klasycznej** na skutek przejścia od jednego inercjalnego UO do drugiego prędkość ruchu, przemieszczenie oraz współrzędna ciała zmieniają się, natomiast siła, masa, przyspieszenie, czas ruchu oraz odległość pomiędzy ciałami zostają niezmiennie.

* Mechanika klasyczna bada ruch ciał, prędkość ruchu których jest o wiele mniejsza od prędkości rozchodzenia się światła.

3 Formułujemy pierwszą zasadę Newtona

Prawo bezwładności Galileusza stało się pierwszym krokiem w ustalaniu głównych praw mechaniki klasycznej. I. Newton, formułując główne zasady ruchu ciał, nazwał tę zasadę pierwszą zasadą ruchu i brzmi ona tak: *Jakiegokolwiek dowolnie izolowane ciało spoczywa lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym dopóki nie będzie ono zmuszone zmienić ten stan pod wpływem działających na niego sił.*

Zwróćmy uwagę na następujące informacje.

1. Od wyboru UO zależy czy będzie poruszać się ciało ruchem jednostajnym, przyspieszonym czy będzie spoczywać.

2. W inercjalnym UO ciało porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym lub spoczywa nie tylko wtedy, gdy jest ono *izolowane* (czyli inne ciała na niego nie działają), lecz i w przypadku, gdy siły działające na ciało, *równoważą się*.

Uwzględniając powyższą informację, we współczesnej fizyce **pierwsza zasada Newtona** formułuje się w następujący sposób:

Istnieją układy odniesienia, względem których każde ciało izolowane porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym lub spoczywa, jeżeli nie działają na nie żadne inne siły lub działania na nie tych sił wzajemnie się równoważą.

Pierwsza zasada Newtona potwierdza zatem istnienie inercjalnych układów odniesienia.

* 4 Dowiadujemy się o zasadzie względności Galileusza

Obserwując ruch ciał w różnych inercjalnych UO, Galileusz doszedł do wniosku, który otrzymał nazwę **zasady względności Galileusza**:

We wszystkich inercjalnych układach odniesienia mechaniczne zjawiska i procesy zachodzą jednakowo przy jednakowych początkowych warunkach.

Galileusz pisał: „Jeżeli znajdując się w kajucie zagłowca, będziemy przeprowadzać dowolne doświadczenia, wtedy ani same doświadczenia, ani ich wyniki nie będą się odróżniać od tych, które przeprowadzalibyśmy na lądzie. I tylko po przejściu na kadłub zobaczymy, że nasz statek porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym...”

Również możesz ustalić zasadę względności, jeżeli, na przykład, przeprowadzisz szereg doświadczeń w wagonie pociągu, który porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym. Zatem filiżanka stojąca na stole będzie znajdowała się w stanie spokoju, natomiast rzucona łyżeczka będzie spadała, względem wagonu, pionowo w dół (rys. 30.5). ←



Rys. 30.5. Żadne mechaniczne doświadczenia nie określą, czy pociąg porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym, czy znajduje się w stanie spoczynku. Pasażer może to ustalić, tylko patrząc do okna



Podsumowanie

Ciało porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym lub spoczywa wyłącznie wtedy, gdy nie działają na nie żadne inne ciała i pola lub, gdy ich działania wzajemnie się równoważą, – jest to współczesna definicja prawa bezwładności, doświadczalnie ustalona przez Galileusza. We współczesnej fizyce zasada ta nazywana jest pierwszą zasadą Newtona i brzmi następująco: istnieją takie UO, względem których ciało spoczywa lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym, jeżeli nie działają na nie inne siły lub działania tych sił wzajemnie równoważą się. Takie układy odniesienia nazywamy inercjalnymi.

Zwykle wykorzystywane są inercjalne UO, związane z Ziemią. Dowolny UO, poruszający się względem inercjalnego UO ruchem jednostajnym prostoliniowym, też jest inercjalny.



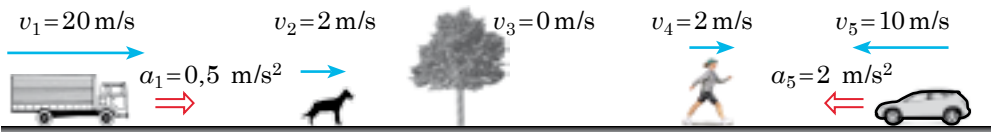
Pytania kontrolne

1. W jakich warunkach ciało zachowuje prędkość ruchu? Podaj przykłady.
2. Sformułuj prawo bezwładności.
3. Jakie UO nazywamy inercjalnymi? nieinercjalnymi? Podaj przykłady takich układów.
4. Sformułuj pierwszą zasadę Newtona. Co ona postuluje?
- *5. Sformułuj zasadę względności Galileusza.



Ćwiczenie nr 30

1. Siedzisz w krześle – zarówno ty, jak i krzesło znajdujecie się w stanie spoczynku względem Ziemi. Jakie ciała działają na krzesło? na ciebie? Co możesz powiedzieć o tych działaniach?
2. Wioślarze, siedzący w łodzi próbują zmusić łódź poruszać się pod prąd, lecz łódź znajduje się w stanie spoczynku względem brzegu. Działania jakich sił równoważą się w tym przypadku?
3. Kot leży na stole (patrz rys. 30.1). Czy będzie związany z nim UO inercjalny? Czy będzie inercjalnym UO związany z pajęczkiem, który równomiernie opuszcza się z sufitu na pajęczynie? Czy będzie inercjalnym UO związany z myszą, która zauważyła kota i hamuje swój ruch? Wyłumacz swoje odpowiedzi.
4. Na rys. 1 przedstawiono kilka ciał. 1) Z jakim ciałem powiąszes UO, aby był on inercjalny? nieinercjalny? Uzasadnij odpowiedź. 2) Jaka będzie w tym momencie prędkość ruchu psa w UO związanym z pieszym; w UO związanym z ciężarówką? 3) Jakie będzie przyspieszenie ruchu samochodu w UO związanym z drzewem; w UO związanym z pieszym?



Rys. 1

5. Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się, dlaczego Galileusz uważany jest za założyciela eksperymentalno-matematycznej metody.
6. Na rys. 2 przedstawiono dwa ciała i siły, działające na nie (1 kratka – 1 N). Wyznacz kierunek i wartość bezwzględna wypadkowej sił, działających na każde ciało.



Rys. 2

§ 31. DRUGA ZASADA NEWTONA

W § 30. przypomniałeś sobie warunki, przy których ciało porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym. A przy jakich warunkach ciało porusza się ruchem jednostajnym przyspieszonym? Od czego zależy przyspieszenie ruchu ciała? W swoim czasie na te pytania odpowiedział I. Newton, formułując *drugą aksjomat ruchu*. O drugiej zasadzie Newtona – *podstawowej zasadzie dynamiki* – dowiesz się w tym paragrafie.

1 Formułujemy drugą zasadę Newtona

W życiu codziennym dobrze wiesz: ciało szybciej zmieni swoją prędkość (otrzyma większe przyspieszenie), jeżeli na niego działamy z większą siłą. Doświadczenia udowadniają: *ile razy zwiększa się siła, tyle razy zwiększa się przyspieszenie*, które ciało uzyskuje w wyniku działania tej siły. Przyspieszenie ruchu ciała jest zatem wprost proporcjonalne do siły, przyłożonej do ciała:

$$a \sim F.$$

Jeżeli z jednakową siłą działamy na ciała o różnej masie, to przyspieszenia ciał będą różne: im większą jest masa ciała, tym mniejsze będzie jego przyspieszenie. Na przykład, jeżeli do piłeczki pingpongowej i do kuli do kręgli przyłożymy jednakową siłę, to prędkość ruchu kuli zmieni się mniej (lub będziemy potrzebować więcej czasu, aby prędkość ruchu kuli zmienić). Czyli przyspieszenie uzyskane przez ciało na skutek działania siły jest odwrotnie proporcjonalne do masy tego ciała:

$$a \sim \frac{1}{m}.$$

Związek między siłą działającą na ciało, masą ciała i przyspieszeniem, uzyskanym przez ciało na skutek działania tej siły, jest **drugą zasadą Newtona**:

Przyspieszenie uzyskane przez ciało na skutek działania siły jest wprost proporcjonalne do działającej siły i odwrotnie proporcjonalne do masy ciała:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Siła

Siła \vec{F} – wektorowa wielkość fizyczna, która jest miarą oddziaływania jednego ciała na inne (miarą wzajemnego oddziaływania).

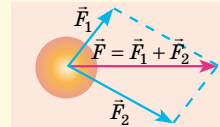
Jednostką siły w SI jest *niuton*:

$$[F] = 1 \text{ N}.$$

Siła jest określona, jeżeli znamy jej wartość (wartość bezwzględna), kierunek i jest zaznaczony punkt przyłożenia siły.

\vec{F} wartość
kierunek
punkt przyłożenia

Jeżeli na ciało działa kilka sił, to ich wspólne działanie można zamienić działaniem jednej siły – **wypadkowej** \vec{F} . Wypadkowa równa się wektorowej sumie sił przyłożonych do ciała:

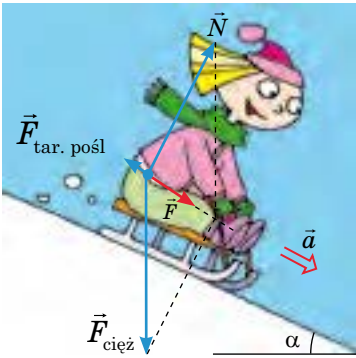


Masa

Masa m – wielkość fizyczna, która jest miarą bezwładności ciała. Jednostką masy w SI jest *kilogram*:

$$[m] = 1 \text{ kg}.$$

Bezwładność – właściwość ciała, która polega na tym, że do zmiany prędkości ruchu ciała na skutek wzajemnego oddziaływania, jest *potrzebny czas*.



Rys. 31.1. Siła \vec{F} – to wypadkowa siły ciężkości $\vec{F}_{\text{cięż}}$, siły reakcji podłoża \vec{N} i siły tarcia poślizgowego \vec{F}_{tar} . Siła \vec{F} – jest przyczyną przyspieszenia \vec{a} dziewczynki

Zwykle na ciało równocześnie działa kilka sił. W tym przypadku siła \vec{F} jest wypadkową wszystkich sił, przyłożonych do ciała: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$ (rys. 31.1), a druga zasada Newtona zapisuje się w postaci:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n}{m}, \text{ lub } \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = m\vec{a}$$

Warto zaznaczyć, że druga zasada Newtona, zapisana w postaci $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$, sprawdza się *tylko w inercjalnych układach odniesienia*.

2 Dowiadujemy się o skutkach drugiej zasady Newtona

1. Dzięki drugiej zasadzie Newtona ustalono jednostkę siły w SI – *niuton*: 1 N – to taka siła, która ciału o masie $m = 1$ kg, nadaje przyspieszenia $a = 1$ m/s²:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

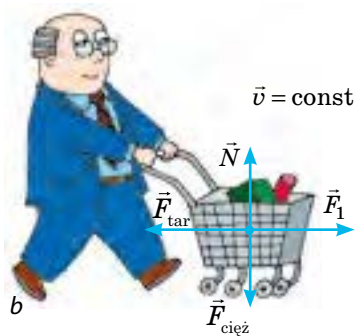
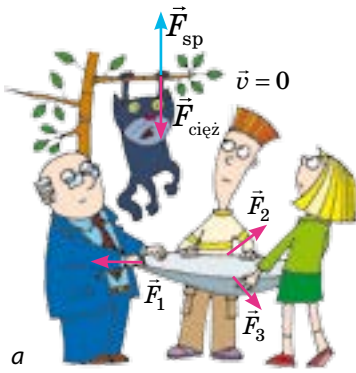
2. Znając wartość bezwzględną i kierunek wypadkowej \vec{F} sił, działających na ciało, zawsze można określić wartość bezwzględną i kierunek przyspieszenia \vec{a} , które uzyskuje ciało na skutek tego działania:

$$a = \frac{F}{m}; \vec{a} \uparrow \uparrow \vec{F}$$

? Wykorzystując wiedzę matematyczną, wyjaśnij ostatnie twierdzenie.

3. Druga zasada Newtona pozwala wyjaśnić **warunek ruchu jednostajnie przyspieszonego ciała**: ciało porusza się ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym tylko w tym przypadku, gdy wypadkowa sił, przyłożonych do ciała, nie zmienia się z czasem.

4. Jeżeli wypadkowa sił równa się zeru ($\vec{F} = 0$), to ciało nie zmienia prędkości ruchu ($\vec{a} = 0$) (rys. 31.2). Więc prawo bezwładności formułujemy w następujący sposób: *ciało spoczywa lub porusza się ruchem prostoliniowym jednostajnym, jeżeli siły działające na ciało są wzajemnie zrównoważone*.



Rys. 31.2. Ciało spoczywa (a) lub porusza się ze stałą prędkością (b), jeżeli wypadkowa sił przyłożonych do ciała równa się zeru



Podsumowanie

Druga zasada Newtona jest główną zasadą dynamiki: przyspieszenie \vec{a} , które uzyskuje ciało na skutek działania siły \vec{F} , jest wprost proporcjonalne do tej siły i odwrotnie proporcjonalne do masy m ciała: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$.

Jeżeli na ciało równocześnie działa kilka sił ($\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$), drugą zasadę Newtona zapisujemy w postaci: $\vec{a} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n}{m}$, lub $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = m\vec{a}$.

Ciało porusza się ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym tylko w tym przypadku, gdy wypadkowa sił, działających na ciało, nie zmienia się z czasem.



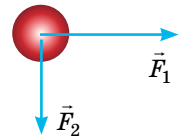
Pytania kontrolne

1. Od czego zależy przyspieszenie ruchu ciała? **2.** Sformułuj drugą zasadę Newtona, zapisz jej wyrażenie matematyczne. **3.** W jaki sposób zapisujemy drugą zasadę Newtona, jeżeli na ciało działa kilka sił? **4.** Co można powiedzieć o kierunkach wypadkowej i przyspieszenia, którego wypadkowa nadaje ciało? **5.** Jaki jest warunek ruchu jednostajnie przyspieszonego ciała?



Ćwiczenie nr 31

- Pociąg o masie 5 t porusza się z przyspieszeniem $0,5 \text{ m/s}^2$. Oblicz wartość bezwzględną wypadkowej sił działających na pociąg.
- Samochód porusza się prostoliniowym odcinkiem drogi. Jak jest skierowana wypadkowa sił działających na samochód, jeżeli on przyspiesza swój ruch? spowalnia swój ruch?
- Ciało o masie 2 kg, poruszające się na południe, zmienia prędkość swojego ruchu na skutek działania siły równej 10 N, skierowanej na wschód. Oblicz wartość bezwzględną i kierunek przyspieszenia ruchu ciała.
- Na skutek działania siły 15 kN ciało porusza się prostoliniowo tak, że jego współrzędna zmienia się według prawa: $x = -200 + 9t - 3t^2$. Oblicz masę ciała.
- Na ciało o masie 5 kg działają dwie wzajemnie prostopadle siły: 12 i 9 N (rys. 1). oblicz przyspieszenie ruchu ciała.
- Za pomocą dodatkowych źródeł informacji ułóż i rozwiąż zadanie na zastosowanie drugiej zasady Newtona dla ruchu dowolnego ciała.
- Chłopczyk i dziewczynka ciągną za końce sznurka (rys. 2). Kto z nich zacznie poruszać się? Kto, twoim zdaniem, uzyska większą prędkość ruchu? Wyjaśnij swoją odpowiedź.



Rys. 1



Rys. 2



Doświadczenie

Za pomocą linijki i klocków o różnej masie udowodnij:

- że wraz ze zwiększeniem siły zwiększa się i przyspieszenie, którego uzyskuje dowolny klocek podczas działania siły;
 - że jeżeli na różne klocki będzie działać ta sama siła, to klocek o większej masie uzyska mniejsze przyspieszenie;
 - że kierunek przyspieszenia jest zawsze zgodny z kierunkiem działania siły.
- Opisz swoje działania. Jak obliczałeś przyspieszenie ciał?

§ 32. TRZECIA ZASADA NEWTONA

Uderz dłonią o ławkę. Boli? Dlaczego boli? Przecież uderzałeś o ławkę, a nie ławka o ciebie. Pociągnij kolegę za rękę stojąc na gładkim lodzie. Kto ruszy z miejsca? Obydwaj? Dlaczego? Przecież ty ciągnąłeś kolegę, a nie on ciebie. Czy będziesz mógł wyciągnąć siebie z wody, ciągnąc się za włosy? Nie? Dlaczego? Przecież możesz w taki sposób wyciągnąć z wody człowieka, który jest nawet cięższy od ciebie. Na te i inne pytania udzieli odpowiedzi trzecia zasada Newtona.



Rys. 32.1. Działanie jest zawsze działaniem wzajemnym. Bawiąc się piłką działacie na nią, na przykład nogą. Piłka też działa na nogę (jest to działanie bardziej odczuwalne, gdy jesteś bosy)



Rys. 32.2. Działanie zawsze jest wzajemne. Ziemia przyciąga ku sobie Księżyc (i Księżyc nie „odlatuje” w przestrzeń kosmiczną). Księżyc też przyciąga Ziemię (i na Ziemi obserwujemy przypływy i odpływy)

1 Ustalamy trzecią zasadę Newtona

Już wiesz, że ciała zawsze wzajemnie działają jedno na drugie – *oddziałują wzajemnie* (rys. 32.1, 32.2). Przeprowadź doświadczenie i wyjaśnij, jak są związane siły, z którymi ciała wzajemnie oddziałują.

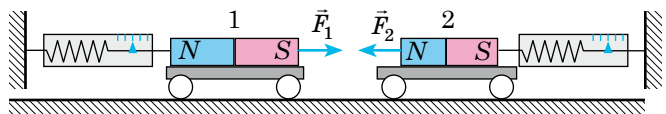
Ustawmy na poziomej powierzchni dwa jednakowe wózki i za pomocą siłomierzy przymocujmy je do pionowych prętów. Na każdym wózku ustawmy magnesy różnoimiennymi biegunami do siebie. Magnesy będą przyciągać się, ruszą z miejsca wózki i rozciągną sprężyny siłomierzy. Doświadczenie pokaże, że wskazania obu siłomierzy będą jednakowe (rys. 32.3).

Można przeprowadzić wiele doświadczeń związanych z mierzeniem takich sił i wyniki zawsze będą takie same: *siły, z którymi wzajemnie oddziałują na siebie dwa ciała, będą równe względem wartości bezwzględnej lecz przeciwnie skierowane* (rys. 32.4, 32.5).

Wzajemne oddziaływanie ciał opisuje **trzecia zasada Newtona**:

Ciała wzajemnie na siebie oddziałują z siłami skierowanymi wzdłuż jednej prostej, równymi co do wartości i przeciwnie skierowanymi:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$



Rys. 32.3. Z jaką siłą magnes 2 przyciąga magnes 1, z taką samą siłą magnes 1 przyciąga magnes 2: $F_1 = F_2$. Siły przy tym są przeciwnie skierowane: $\vec{F}_1 \uparrow \vec{F}_2 \downarrow$

2 Dowiadujemy się o niektórych osobliwościach wzajemnego oddziaływania ciał

Zwracając się do przykładów przedstawionych na rys. 32.1–32.5, zauważymy szereg osobliwości.

1. Trzecia zasada Newtona sprawdza się w przypadkach bezpośredniego kontaktu ciał (patrz rys. 32.1, 32.5), tak jak i w przypadkach wzajemnego oddziaływania ciał na odległości (patrz rys. 32.2–32.4).

2. *Siły zawsze powstają parami*: jeżeli jest siła \vec{F}_1 , działająca na ciało 1 ze strony ciała 2, to powinna być równa jej co do wartości i przeciwnie skierowana siła \vec{F}_2 , działająca na ciało 2 ze strony ciała 1. Jednak przejaw tych sił (lub jednej z nich) nie zawsze jest zauważalny. Na przykład w czasie chodzenia odpychasz się od powierzchni Ziemi, więc działa na ciebie siła ze strony Ziemi. Zgodnie z trzecią zasadą Newtona z taką samą siłą będziesz odpychać Ziemię od siebie. Jednak przez dużą masę Ziemi, wynik działania tej siły będzie niezauważalny. Gdy będziesz iść po lekkiej łodzi płynącej po wodzie, to twoje działanie zmusi ją poruszać się w kierunku przeciwnym do twego ruchu.

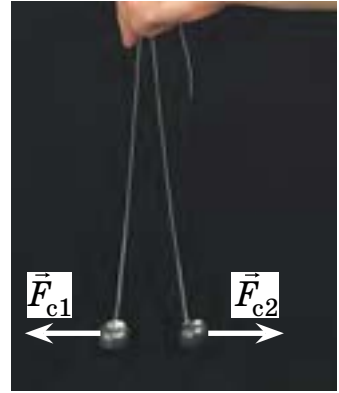
3. Siły, które powstają podczas wzajemnego oddziaływania dwóch ciał, *zawsze są jednej natury*.

? Przyjrzyj się rys. 32.1–32.5 i przekonaj się w prawidłowości ostatniego twierdzenia.

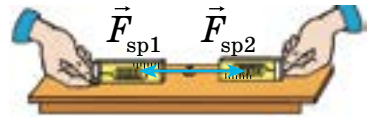
Wydawałoby się, że jeżeli przy dowolnym wzajemnym oddziaływaniu powstaje para równych co do wartości i przeciwnie skierowanych sił, to takie siły powinny się wzajemnie równoważyć. To znaczy, że działania nie ma. Jesteśmy skazani na nieruchomość lub na ciągły ruch? Oczywiście, że tak nie jest! Równoważą się tylko siły przyłożone do jednego ciała. Siły, które powstają podczas wzajemnego oddziaływania i przyłożone do różnych ciał *nie mogą się równoważyć*.

3 Uczymy się rozwiązywać zadania

Zadanie. Naczynie z wodą jest zrównoważone na wadze (rys. 32.6). Czy zmieni się równowaga wagi, jeżeli zanurzymy do wody palec, nie dotykając przy tym ścianek i dna naczynia?



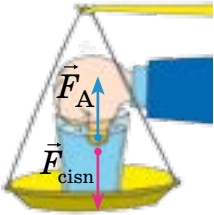
Rys. 32.4. Na każdą z dwóch równomiernie naładowanych kulek działa siła Coulomba ze strony innej kulki. Te siły są równe co do wartości i przeciwnie skierowane: $\vec{F}_{c1} = -\vec{F}_{c2}$



Rys. 32.5. Jeżeli siłomierze sczepimy razem i pociągamy w różne strony, to ich wskazania będą jednakowe: $\vec{F}_{sp1} = -\vec{F}_{sp2}$



Rys. 32.6. Do zadania § 32



Rys. 32.7. Do zadania § 32

Rozwiązanie. Po zanurzeniu do wody, na palec zacznie działać siła Archimedeasa, skierowana pionowo do góry. Zgodnie z trzecią zasadą Newtona na wodę ze strony palca będzie działać siła – równa co do wartości sile Archimedeasa i skierowana w dół: $\vec{F}_{\text{cisl}} = -\vec{F}_A$ (rys. 32.7). Więc palec, nawet nie dotykając dna i ścianek naczynia, popcha wodę, a razem z wodą i naczyniem w dół – waga stanie się nierównoważona.

Odpowiedź: równowagi nie będzie.



Podsumowanie

Ciała zawsze wzajemnie działają jedno na drugie. Wzajemne oddziaływanie ciał opisuje trzecia zasada Newtona (zasada wzajemnego oddziaływania): siły, z którymi ciała oddziałują wzajemnie, skierowane wzdłuż jednej prostej równie co do wartości i przeciwne co do kierunku: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$. Pary sił, które powstają podczas wzajemnego oddziaływania ciał, zawsze mają jednakową naturę; te siły nie równoważą się wzajemnie dlatego, że są przyłożone do różnych ciał.



Pytania kontrolne

1. Sformułuj trzecią zasadę Newtona. Dlaczego tę zasadę nazywamy zasadą wzajemnego oddziaływania? **2.** Podaj przykłady trzeciej zasady Newtona. **3.** Co można powiedzieć o naturze sił, które powstają podczas wzajemnego oddziaływania ciał? Podaj przykłady. **4.** Dlaczego siły, które powstają podczas wzajemnego oddziaływania ciał nie równoważą się wzajemnie?



Ćwiczenie nr 32

1. Dziewczynka uderzyła piłkę z siłą 10 N (rys. 1). Z jaką siłą piłka „uderzy” dziewczynkę? W jakim kierunku będzie działała ta siła?
2. Rozpatrz grawitacyjne oddziaływanie jabłka, wiszącego na gałęzi i Ziemi (rys. 1). Co będzie bardziej przyciągać się: jabłko do Ziemi czy Ziemia do jabłka?
3. Chłopczyk o masie 48 kg, stojąc na gładkim lodzie, odpycha od siebie kulę o masie 3 kg, przekazując jej w kierunku poziomym przyspieszenie równe 8 m/s^2 . Jakie przyspieszenie uzyska chłopczyk?
4. Sznur wytrzymałe napięcie ok. 300 N. Czy rozerwie się sznur, jeżeli cztery osoby ciągną go w przeciwne boki tak, jak pokazano na rys. 2, z siłą 100 N każdy? Czy rozerwie się sznur, jeżeli jeden z jego końców umocować, a wszyscy czworo będą go ciągnąć za drugi koniec w jednym kierunku?
5. Pomyśl i napisz 5–10 przykładów wzajemnego oddziaływania ciał. Wykonaj szkice rysunków. Wskaż pary sił (jak „niewidocznych” tak i widocznych).



Rys. 1



Rys. 2



§ 33. PRAWO GRAWITACJI. SIŁA CIĘŻKOŚCI. PRZYSPIESZENIE SWOBODNEGO SPADANIA

Mówi się, że I. Newton sam opowiadał jak odkrył prawo grawitacji. Pewnego razu, spacerując po sadzie, zobaczył na dziennym niebie Księżyc. W tym momencie z drzewa na niego spało jabłko. Właśnie wtedy uczony pomyślał o tym, że możliwe to jedna z sił zmusza jabłko spaść na ziemię, a Księżyc – pozostawać na okołozemskiej orbicie.

1 Przypominamy o oddziaływaniu grawitacyjnym

Wszystkie bez wyjątku ciała fizyczne przyciągają się ku sobie – takie zjawisko nazywamy powszechnym ciążeniem lub grawitacją (z łacińskiego *gravitas* – ciężar).

Oddziaływanie grawitacyjne jest to oddziaływanie, które sprawdza się dla wszystkich ciał we Wszechświecie i przejawia się we wzajemnym przyciąganiu się ku sobie.

Na przykład, ty i ten podręcznik w tym momencie oddziałujecie wzajemnie siłami grawitacyjnego przyciągania. Jednak w tym przypadku siły są na tyle małe, że ich nie rejestrują nawet bardzo precyzyjne współczesne przyrządy. Siły grawitacyjnego przyciągania osiągają zauważalne wartości tylko wtedy, gdy chociażby jedno z ciał ma masę przybliżoną do masy ciał niebieskich (czarnych dziur, gwiazd, planet i ich satelitów).

Oddziaływanie grawitacyjne zachodzi dzięki osobliwemu rodzajowi materii – **polu grawitacyjnemu**, które istnieje wokół dowolnego ciała: gwiazdy, planety, człowieka, książki, cząsteczki, atomu itd.

2 Zapoznajemy się z prawem grawitacji

Z pojęciem ciężkości po raz pierwszy spotykamy się w utworach antycznych autorów. Starożytny grecki filozof *Plutarch* (ok. 46 – ok. 127 r.) pisał: „Księżyc spadłby na Ziemię jak kamień, gdyby zniknęła siła jego lotu”.

W XVI–XVII w. uczeni Europy wrócili do teorii istnienia wzajemnego przyciągania się ciał. Bodźcem do jej odrodzenia stały się przede wszystkim odkrycia w astronomii: *Mikołaj Kopernik* (rys. 33.1) udowodnił, że w środku Układu



11 lutego 2016 r. poinformowano o doświadczalnym odkryciu fal grawitacyjnych, istnienie których przewidywał jeszcze *A. Einstein*.

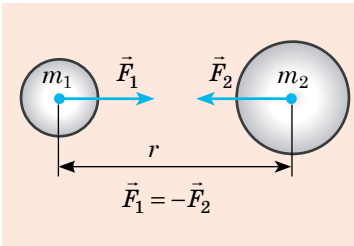
Fala grawitacyjna – jest to rozchodzenie się grawitacyjnego pola w przestrzeni. Fala jest promieniowana przez ruchomą masę i może odrywać się od swego źródła (podobnie jak odrywa się fala elektromagnetyczna od cząstki naładowanej, poruszającej się z przyspieszeniem). Uważa się, że badania fal grawitacyjnych pomogą zrozumieć historię powstania Wszechświata i nie tylko...



Rys. 33.1. Mikołaj Kopernik (1473–1543) – polski astronom, twórca heliocentrycznego układu świata

Słonecznego znajduje się Słońce, a wszystkie planety krążą wokół niego; *Johannes Kepler* (1571–1630) odkrył prawa ruchu planet wokół Słońca; *Galileusz* skonstruował teleskop i przy jego pomocy zobaczył satelitę Jowisza.

Lecz dlaczego planety krążą wokół Słońca, satelity wokół planet, jaka siła utrzymuje ciała kosmiczne na orbitach? Jako pierwszy zrozumiał to angielski uczyony *Robert Hooke* (1635–1703). Pisał: „Wszystkie ciała niebieskie powinny przyciągać się do swego środka, na skutek czego nie tylko utrzymują one własne części i zapobiegają ich rozlatywaniu się, lecz również przyciągają wszystkie inne ciała niebieskie, znajdujące się w zasięgu ich działania”.



Rys. 33.2. Zgodnie z trzecią zasadą Newtona siły grawitacyjnego przyciągania się ciał są równe co do wartości i przeciwnie skierowane



Rys. 33.3. Henry Cavendish (1731–1810) – angielski fizyk i chemik. Na kilka lat przed Ch. Coulombem odkrył prawo oddziaływania ładunków elektrycznych. Uczony obliczył stałą grawitacji; masę i średnią gęstość Ziemi

Właśnie R. Hooke przypuścił, że siła przyciągania dwóch sił jest wprost proporcjonalna do mas tych ciał i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między nimi. Jednak udowodnić tego nie potrafił. Zrobił to *I. Newton*, który sformułował **prawo grawitacji**:

Między dwoma ciałami działają siły grawitacyjnego przyciągania (rys. 32.2), które są wprost proporcjonalne do iloczynu mas tych ciał i odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości między nimi:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

G – stała grawitacji.

? Jakie prawo przypomina wzór para grawitacji? Zapisz odpowiedni wzór.

Stałą grawitacji po raz pierwszy obliczył w 1798 roku za pomocą wagi skręceń angielski uczyony *Henri Cavendish* (rys. 33.3):

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}.$$

Stala grawitacji liczbowo równa się sile, z którą dwa punkty materialne o masie 1 kg każdy oddziałują na odległości 1 m od siebie (jeżeli $m_1 = m_2 = 1$ kg, a $r = 1$ m, to $F = 6,67 \cdot 10^{-11}$ N).

Za pomocą prawa grawitacji można opisać dużo zjawisk, w tym ruch naturalnych i sztucznych ciał w Układzie Słonecznym, ruch podwójnych gwiazd, skupisk gwiazdnych itd. W astronomii za pomocą tego prawa oblicza się masę ciał niebieskich, określa się charakter ich ruchu, budowę, ewolucję.

3 Wyjaśnijmy jakie są granice prawa grawitacji

Wzór $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ prawa grawitacji daje dokładny wynik w przypadkach:

1) jeśli rozmiary ciał są bardzo małe w porównaniu z odległością między nimi (ciała można uważać za punkty materialne);

2) jeśli oba ciała mają kulisty kształt i warstwowe rozmieszczenie substancji;

3) jeśli jedno z oddziałujących ciał to kula, rozmiary i masa której są o wiele większe od rozmiarów i masy drugiego ciała, znajdującego się na powierzchni tej kuli lub w pobliżu niej.

Zwróć uwagę! Prawo grawitacji jak i większość praw mechaniki klasycznej jest wykorzystywane tylko wtedy, gdy względna prędkość ruchu ciał jest o wiele mniejsza od prędkości rozchodzenia się światła. W ogólnym przypadku ciężenie jest opisywane *ogólną teorią względności* stworzoną przez A. Einsteina.

? Dlaczego można stosować prawo grawitacji do obliczenia siły przyciągania Ziemi do Słońca? Księżyca do Ziemi? człowieka do Ziemi? (patrz rys. 33.4)



Rys. 33.4. Do zadania w § 33

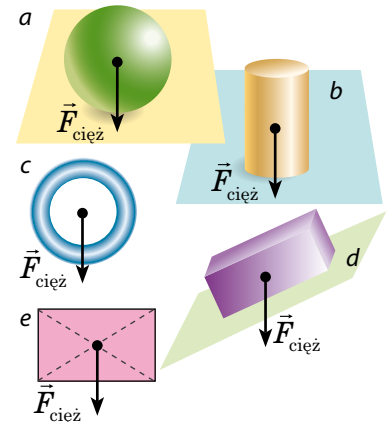
4 Określamy siły ciężkości

Siłą ciężkości $\vec{F}_{\text{cięż}}$ jest to siła, z którą Ziemia (lub inne astronomiczne ciało) przyciąga ku sobie ciała znajdujące się na jej powierzchni lub w pobliżu (rys. 33.5)*.

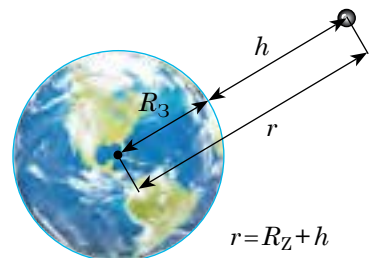
Zgodnie z prawem grawitacji wartość siły ciężkości $F_{\text{cięż}}$, która działa na dowolne ciało w pobliżu powierzchni Ziemi, obliczamy według wzoru:

$$F_{\text{cięż}} = G \frac{mM_Z}{r^2}, \text{ lub } F_{\text{cięż}} = G \frac{mM_Z}{(R_Z + h)^2},$$

gdzie G – stała grawitacji masa ciała; m – masa ciała; M_Z – masa Ziemi; $r = R_Z + h$ – odległość od środka Ziemi do ciała (rys. 33.6).



Rys. 33.5. Siła ciężkości jest skierowana pionowo w dół i przyłożona do punktu, który nazywamy *środkiem ciężkości ciała*. Środek ciężkości jednorodnego symetrycznego ciała znajduje się w środku symetrii; może być i po za ciałem (c)



Rys. 33.6. Odległość r od środka Ziemi do ciała równa się sumie promienia Ziemi R_Z i wysokości h , na której znajduje się ciało

* Siła ciężkości jest uwarunkowana nie tylko grawitacyjnym przyciąganiem Ziemi, lecz i jej dobowym obrotem. Jednak jest to ważne tylko dla bardzo dokładnych obliczeń.

Po raz pierwszy spadanie ciał zbadał *Galileusz*, który przypuścił, a następnie doświadczalnie potwierdził hipotezę: przyczyną tego, że lekkie ciała spadają z mniejszym przyspieszeniem jest opór powietrza; gdy powietrza nie ma, wszystkie ciała, niezależnie od ich masy, objętości, kształtu spadają na Ziemię z jednakowym przyspieszeniem.

Bardziej dokładne doświadczenia wykonał *Isaak Newton*, który w tym celu sporządził specjalne urządzenie – *rurkę Newtona*. Doświadczenia wykazały: w próżni ołowiana kruszynka, korek i ptasie pióro spadały jednocześnie (a), w powietrzu pióro spadało z wielkim opóźnieniem (b).



5 Czym jest przyspieszenie ziemskie

Ruch ciała wyłącznie pod działaniem siły ciężkości nazywamy **swobodnym spadaniem**.

Podczas swobodnego spadania siła ciężkości, działająca na ciało, żadną siłą nie równoważy się, dlatego zgodnie z drugą zasadą Newtona ciało porusza się z przyspieszeniem. Jest to *przyspieszenie ziemskie* i oznaczamy go symbolem \vec{g} :

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_{\text{cięż}}}{m}$$

Podobnie jak siła ciężkości przyspieszenie ziemskie zawsze jest skierowane pionowo w dół ($\vec{g} \uparrow \uparrow \vec{F}_{\text{cięż}}$) niezależnie od tego, w jakim kierunku porusza się ciało $g = F_{\text{cięż}}/m$:

$$F_{\text{cięż}} = mg$$

Więc, siłę ciężkości można obliczyć stosując dwa wzory:

$$F_{\text{cięż}} = mg; F_{\text{cięż}} = G \frac{m \cdot M_Z}{(R_Z + h)^2}$$

Przyrównując prawe części wzorów, otrzymamy wzór dla obliczenia *przyspieszenia ziemskiego*:

$$g = G \frac{M_Z}{(R_Z + h)^2}$$

Analizując ostatni wzór, można wyciągnąć kilka wniosków.

1. *Przyspieszenie ziemskie nie zależy od masy ciała* (stwierdzenie udowodnione przez Galileusza).

2. *Przyspieszenie ziemskie zmniejsza się w przypadku podnoszenia ciała nad powierzchnię Ziemi*, przy tym zauważalna zmiana zachodzi przy podnoszeniu na dziesiątki i setki kilometrów (jeśli podniesiemy ciało na 100 km, przyspieszenie ziemskie zmniejsza się o 0,3 m/s²).

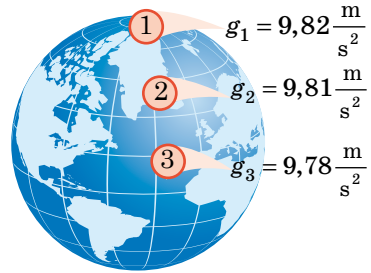
3. Jeżeli ciało znajduje się na powierzchni Ziemi ($h = 0$) lub поблизу ($h \ll R_Z$), to przyspieszenie swobodnego spadania oblicza się według wzoru:

$$g = G \frac{M_Z}{R_Z^2} \approx 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Zwróć uwagę: rozwiązując zadania uważamy, że $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Zaznaczamy, że – przyspieszenie ziemskie zależy od położenia geograficznego. Jest tak z powodu dwóch przyczyn: po pierwsze, kształt Ziemi – geoid (promień równikowy Ziemi jest większy od biegunowego o 21 km); po drugie, Ziemia krąży wokół swej osi (rys. 33.7).

? Z nauki fizyki klasy 7. wiadomo, że $g \approx 10 \text{ N/kg}$. Udowodnij, że $1 \text{ N/kg} = 1 \text{ m/s}^2$.



Rys. 33.7. Wartość przyspieszenia ziemskiego na równiku jest mniejsza, niżeli na biegunie ($g_3 < g_1$)



Podsumowanie

Oddziaływanie, które jest właściwe dla wszystkich ciał Wszechświata i wyraża się w ich wzajemnym przyciąganiu się, nazywamy grawitacyjnym. Grawitacyjne oddziaływanie dokonuje się za pomocą osobliwego rodzaju materii – pola grawitacyjnego.

Prawo grawitacji: między dowolnymi dwoma ciałami działa siła grawitacyjnego przyciągania, która jest wprost proporcjonalna do iloczynu mas tych ciał i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między nimi: $F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$, gdzie $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$ – stała grawitacji.

Siłę, z którą Ziemia przyciąga ku sobie ciała, znajdujące się na jej powierzchni lub w pobliżu, nazywamy siłą ciężkości. Siła ciężkości jest skierowana pionowo w dół, przyłożona do środka ciężkości ciała, a jej wartość obliczamy według wzorów: $F_{\text{cięż}} = mg$; $F_{\text{cięż}} = G \frac{m \cdot M_Z}{(R+h)^2}$.

Ruch ciał pod działaniem siły ciężkości nazywamy swobodnym spadaniem, przyspieszenie, z którym poruszają się ciała – przyspieszeniem ziemskim \vec{g} . Przyspieszenie jest zawsze skierowane pionowo w dół i nie zależy od masy ciała. Na powierzchni Ziemi $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$.



Pytania kontrolne

1. Jakie oddziaływanie nazywamy grawitacyjnym? Podaj przykłady. **2.** Sformułuj i zapisz prawo grawitacji. **3.** Wyjaśnij fizyczny sens stałej grawitacji. Ile ona wynosi? **4.** Jakie są granice stosowania prawa grawitacji? **5.** Podaj definicję siły ciężkości. Według jakich wzorów ją obliczamy i jak jest ona skierowana? **6.** Od czego zależy przyspieszenie ziemskie?



Ćwiczenie nr 33

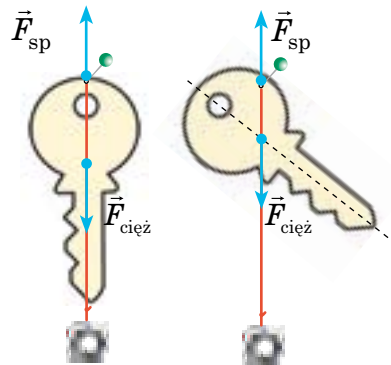
1. Oblicz masę ciała, jeżeli na powierzchni Księżyca na ciało działa siła ciężkości równa 7,52 N. Oblicz siłę ciężkości, która będzie działać na to ciało na powierzchni Ziemi. Przyspieszenie ziemskie na Księżycu wynosi $1,6 \text{ m/s}^2$.

2. Czy można za pomocą prawa grawitacji obliczyć siłę przyciągania dwóch statków (patrz rysunek).
3. Jak zmieni się siła grawitacji między dwoma kulkami, jeżeli jedną z nich zamienić na inną o dwukrotnie większej masie?
4. H. Cavendish zmierzył stałą grawitacji, dzięki czemu wyznaczył masę Ziemi. Po czym dumnie powiedział: „Zważyłem Ziemię”. Oblicz masę Ziemi, znając jej promień ($R_Z \approx 6400$ km), przyspieszenie ziemskie na jej powierzchni i stałą grawitacji.
5. Oblicz przyspieszenie ziemskie na wysokości równej trzem promieniom Ziemi.
6. Oblicz przyspieszenie grawitacyjne na powierzchni planety, jeżeli jej masa jest dwukrotnie większa od masy Ziemi, a promień jest dwukrotnie większy od promienia Ziemi.
7. Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się o przyspieszeniu ziemskim na powierzchni planet Układu Słonecznego. Na jakiej planecie twój ciężar będzie mniejszy? Czy będzie przy tym większa twoja masa?
8. Równanie ruchu ciała: $x = -5t + 5t^2$. Podaj początkową prędkość i przyspieszenie ruchu ciała. Za jaki odcinek czasu ciało zmieni kierunek ruchu?



Doświadczenie

Jeżeli ciało ma nieprawidłowy kształt, to środek jego ciężkości można określić wieszając ciało po kolei za dowolne dwa skrajne punkty (patrz rysunek). Wytnij z brystolu lub kartonu figurę dowolnego kształtu i określ jej środek ciężkości. Następnie umieść tę figurę środkiem ciężkości na końcu igły lub końcówce długopisu. Przekonaj się, że figura znajduje się w równowadze. Zapisz plan przeprowadzania doświadczenia.



Fizyka i technika na Ukrainie

Państwowy politechniczny uniwersytet w Odessie został założony w 1918 r. obecnie jest jedną z najbardziej znanych technicznych uczelni Ukrainy.

Prestiż uniwersytetu określa się autorytetem wybitnych uczonych, wśród których są tacy jak zdobywca nagrody Nobla I. Tamm, akademicy L. Mandelsztam, M. Papaleksi, A. Amelin, M. Aganin, profesorowie M. Kuzniecowa, K. Zawrijew, Cz. Klark, I. Tymczenko i in.

Na Politechnice Odesskiej uczyli się i pracowali wybitni inżynierowie, konstruktorzy, uczeni, wynalazcy: W. Atroszczenko, G. Boryskow, A. Ennan, O. Nudelman, O. Daszczenko, L. Hutemacher, G. Susłow, W. Ażogin, Ł. Panow, B. Prister, A. Usow, O. Jakymow i in.

Głównymi kierunkami badań naukowych i przygotowania kadry politechniki odesskiej są budowa maszyn, energetyka, technologie chemiczne, komputerowo zintegrowane systemy kierowania, radioelektronika, elektromechanika, informacyjne technologie, telekomunikacje.

Od 2010 r. rektorem uniwersytetu jest Genadiusz Oborski, doktor nauk technicznych, profesor, znany fachowiec w dziedzinie dynamiki układów technicznych.

§ 34. RUCH CIAŁA POD DZIAŁANIEM SIŁY CIĘŻKOŚCI

Torem ruchu piłki, rzuconej pionowo do góry lub w dół jest linia prosta. Rozpędzając się człowiek skacze do wody – torem ruchu jego ciała będzie gałąź paraboli. Kula, wypuszczona z działa pod kątem do poziomu, też opisuje część paraboli. Ruchy wszystkich ciał występują pod działaniem siły ciężkości. Czyli mamy do czynienia ze swobodnym spadaniem. Dlaczego tak różnią się od siebie? Przyczyna tkwi w różnych warunkach początkowych (rys. 34.1).

1 Wykonujemy szereg uproszczeń

Rzeczywisty ruch ciała pod działaniem ciężarzenia Ziemi jest dość skomplikowany i jego badanie jest poza programem szkolnym. Dlatego, aby rozwiązywać zadania, przyjmujemy niektóre uproszczenia:

1) układ odniesienia, związany z punktem na powierzchni Ziemi, uważamy za inercjalny;

2) będziemy badać przemieszczenie w pobliżu powierzchni Ziemi, czyli na niedużych odległościach (w porównaniu z promieniem Ziemi). Wtedy krzywiznę powierzchni Ziemi i zmianę przyspieszenia ziemskiego można nie uwzględniać; innymi słowy, Ziemię będziemy uważać za „płaską”, a przyspieszenie ziemskie – za stałe:

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2};$$

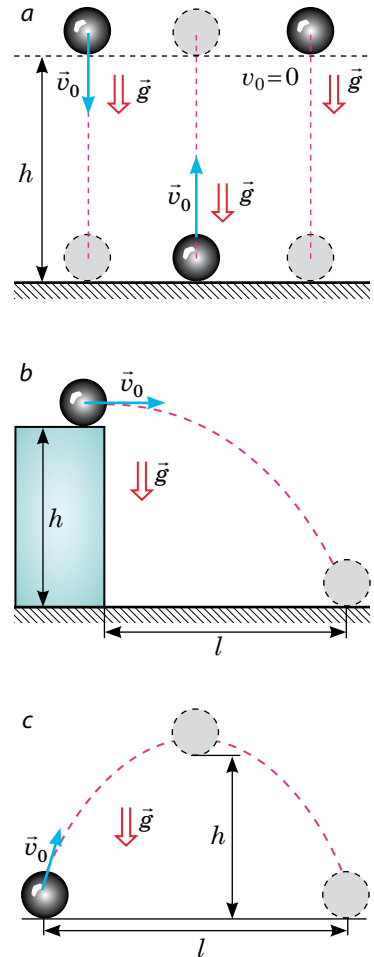
3) pomijamy opór powietrza.

Zwróć uwagę: gdy przyjmiemy dwa pierwsze uproszczenia, otrzymany wynik będzie bliższy do rzeczywistego; trzecie uproszczenie nie będzie miało poważnego wpływu na wynik w przypadkach, gdy *prędkość ruchu ciała jest niewielka, ciała są ciężkie i niedużych rozmiarów*. Właśnie o takich ciałach będziemy mówić dalej.

2 Badamy ruch ciała rzuconego pionowo

Obserwując ruch niewielkich ciężkich ciał rzuconych pionowo w dół, pionowo do góry lub które spadają bez początkowej prędkości widzimy, że tor ruchu tych ciał – to odcinki linii prostej (patrz rys. 34.1, a). Oprócz tego wiemy, że ciała te poruszają się ze stałym przyspieszeniem.

Ruch ciała, rzuconego pionowo do góry lub w dół jest ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem równym przyspieszeniu ziemskiemu: $\vec{a} = \vec{g}$.



Rys. 34.1. Tor ruchu ciała pod działaniem siły ciężkości zależy od kierunku prędkości ruchu ciała: ciało rzucone pionowo porusza się torem prostoliniowym (a); tor ruchu ciała rzuconego poziomo (b) lub pod kątem do poziomu (c) jest parabola

Do matematycznego opisanie ruchu ciała rzuconego pionowo do góry lub w dół (swobodne spadanie ciała) wykorzystamy wzory zależności prędkości, przemieszczenia oraz współrzędnej od czasu dla prostoliniowego jednostajnie przyspieszonego ruchu.

Zapisując wzory, które opisują swobodne spadanie dokonamy mechanicznej zamiany wielkości.

1. Opisując pionowy ruch ciała wektory prędkości, przyspieszenia i przemieszczenia tradycyjnie rzutują na oś OY , dlatego w równaniach ruchu *zamieniamy x na y* .

2. Pionowe przemieszczenie ciała zazwyczaj oznaczamy symbolem h (wysokość), dlatego *zamieniamy s na h* .

3. Dla wszystkich ciał, poruszających się pod działaniem siły ciężkości przyspieszenie dorównuje przyspieszeniu ziemskiemu, dlatego *a zamieniamy na g* .

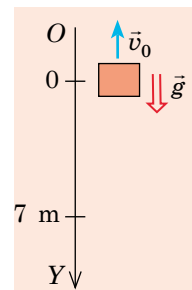
Uwzględniając wykonane zamiany otrzymamy równania za pomocą których opisujemy ruch swobodnie spadającego ciała:

Wzory	Ruch jednostajnie przyspieszony wzdłuż osi OX	Swobodne spadanie wzdłuż osi OY
Równanie zależności rzutu prędkości od czasu	$v_x = v_{0x} + a_x t$	$v_y = v_{0y} + g_y t$
Równanie zależności rzutu przemieszczenia od czasu	$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$	$s_y = h_y = v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}$
Wzór, który wyraża geometryczny sens przemieszczenia	$s_x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} \cdot t$	$s_y = h_y = \frac{v_y + v_{0y}}{2} \cdot t$
Wzór na obliczenie rzutu przemieszczenia, jeżeli jest niewiadomy czas ruchu ciała	$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$	$s_y = h_y = \frac{v_y^2 - v_{0y}^2}{2g_y}$
Równanie współrzędnej	$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x}{2} t^2$	$y = y_0 + v_{0y} t + \frac{g_y}{2} t^2$

Zadanie 1. Balon podnosi się jednostajnie z prędkością 2 m/s. Na wysokości 7 m od powierzchni ziemi wypada z niego niewielkie ciężkie ciało. Za jaki odcinek czasu spadnie ono na ziemię? Jaka będzie prędkość ruchu ciała w momencie spadania? Spadanie ciała uważamy za swobodne.

Analiza problemu fizycznego. Wykonamy rysunek. Skierujemy oś OY pionowo w dół. Początek współrzędnych niech będzie zgodny z położeniem ciała w momencie początku spadania.

Ciało wypadło z balonu, który jednostajnie podnosił się, dlatego w momencie początku spadania prędkość ruchu ciała dorównywała prędkości ruchu balonu i była skierowana pionowo do góry.



Dane:

$v_0 = 2 \text{ m/s}$

$h = 7 \text{ m}$

$g = 10 \text{ m/s}^2$

Znaleźć:

$t - ?$

$v - ?$

Poszukiwanie modelu matematycznego, rozwiązywanie

Do obliczenia czasu spadania stosujemy równanie przemieszczenia:

$$h_y = v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}.$$

Skonkretyzujemy równanie (zamienimy rzuty na wartości bezwzględne). Z rysunku widać: $h_y = h = 7 \text{ m}$; $v_{0y} = -v_0 = -2 \text{ m/s}$; $g_y = g = 10 \text{ m/s}^2$. Podstawimy dane w równanie przemieszczenia: $7 = -2t + 5t^2 \Rightarrow 5t^2 - 2t - 7 = 0$.

Rozwiązując równanie, obliczymy t :

$$D = 4 + 4 \cdot 5 \cdot 7 = 144; \quad t_1 = \frac{2+12}{10} = 1,4 \text{ (s)}; \quad t_2 = \frac{2-12}{10} = -1 \text{ (s)} - \text{nieprawidłowy pierwiastek.}$$

Prędkość ruchu w momencie spadania obliczymy według wzoru $v_y = v_{0y} + g_y t$.Uwzględniając to, że $v_{0y} = -v_0 = -2 \text{ m/s}$; $g_y = g = 10 \text{ m/s}^2$, otrzymujemy:

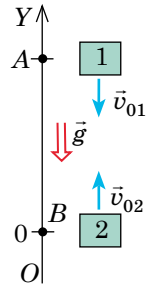
$$v_y = -2 + 10t.$$

Ponieważ czas spadania $t = 1,4 \text{ s}$, to $v_y = -2 + 10 \cdot 1,4 = 12 \text{ (m/s)}$.**Odpowiedź:** $t = 1,4 \text{ s}$; $v = 12 \text{ m/s}$.

Zadanie 2. Z punktów A i B znajdujących się w jednym pionie na odległości 105 m od siebie (patrz rysunek), rzucają dwa ciała z jednakową prędkością 10 m/s . Ciało 1 rzucają z punktu A pionowo w dół, a po 1 s z punktu B pionowo do góry rzucają ciało 2. Na jakiej odległości od punktu A ciała spotkają się?

Analiza problemu fizycznego. Oba ciała poruszają się prostoliniowo z przyspieszeniem $\vec{a} = \vec{g}$. W momencie spotkania się współrzędne ciała będą jednakowe: $y_1 = y_2$. Więc, w celu rozwiązywania zadania należy zapisać równanie współrzędnej dla każdego ciała.

Umówmy się, że początek współrzędnych jest zgodny z położeniem ciała 2 ($y_{02} = 0$), wtedy początkowa współrzędna ciała 1 – 105 m ($y_{01} = 105 \text{ m}$). Czas ruchu ciała 2 o jedną sekundę jest mniejszy od czasu ruchu ciała 1, czyli $t_2 = t_1 - 1 \text{ s}$.



Poszukiwanie modelu matematycznego, rozwiązywanie. Zapiśmy równanie współrzędnej w ogólnej postaci i skonkretyzujemy go dla każdego ciała:

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}.$$

Ciało 1

$$y_{01} = 105 \text{ m}; \quad v_{01y} = -v_{01} = -10 \text{ m/s};$$

$$g_y = -g = -10 \text{ m/s}^2 \text{ (początkowa prędkość i przyspieszenie skierowane są przeciwnie do kierunku osi OY)}. \text{ Więc:}$$

$$y_1 = 105 - 10t_1 - 5t_1^2.$$

Ciało 2

$$y_{02} = 0; \quad v_{02y} = v_{02} = 10 \text{ m/s}; \quad g_y = -g = -10 \text{ m/s}^2 \text{ (prędkość jest skierowana w kierunku osi OY, przyspieszenie – w kierunku przeciwnym osi OY)}. \text{ Więc:}$$

$$y_2 = 0 + 10t_2 - 5t_2^2.$$

Uwzględniając to, że $y_1 = y_2$, a $t_2 = t_1 - 1$, otrzymujemy:

$$105 - 10t_1 - 5t_1^2 = 10(t_1 - 1) - 5(t_1 - 1)^2.$$

? Udowodnij, że po otwieraniu nawiasów i redukowaniu wyrazów podobnych, otrzymamy równanie $30t_1 = 120$.

Więc, $t_1 = 4$ s – to czas spotkania. Po 4 s ciało 1 znajdzie się w punkcie o współrzędnej

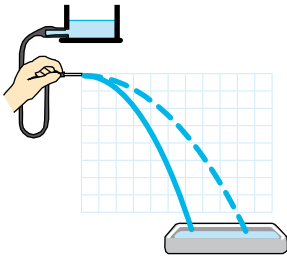
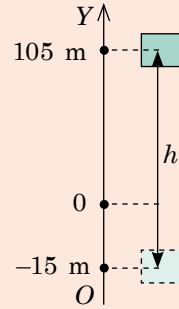
$$y_1 = 105 - 10 \cdot 4 - 5 \cdot 4^2 = -15 \text{ (m)}.$$

Więc ciała spotkają się na odległości

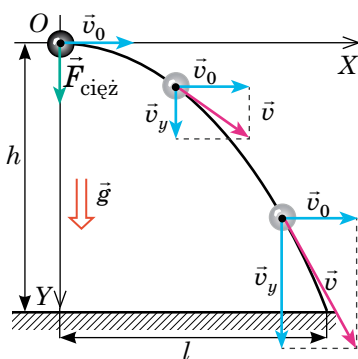
$$h = 105 + 15 = 120 \text{ (m) os punktu A}$$

(patrz rysunek).

Odpowiedź: $h = 120$ m.



Rys. 34.2. Tor ruchu cząstek strumienia wody, skierowanego poziomo, jest gałęzią paraboli. Wygląd zewnętrzny paraboli zależy od początkowej prędkości cząstek wody



Rys. 34.3. Ruch ciała rzuconego poziomo składa się z dwóch ruchów: jednostajnego – wzdłuż osi OX z prędkością \vec{v}_0 ; jednostajnie przyspieszonego – wzdłuż osi OY bez prędkości początkowej z przyspieszeniem \vec{g}

3 Badamy ruch ciała rzuconego poziomo

Jeżeli za pomocą gumowej rurki z końcówką stworzymy strumień wody i skierujemy go poziomo, to zobaczymy, że torem ruchu cząstek wody będzie parabola (rys. 34.2). Parabola będzie również tor ruchu piłeczki pingpongowej, jeżeli nadamy jej poziomą prędkość, również tor rzuconego poziomo kamienia.

Badamy ruch ciała, rzuconego poziomo jak wynik dodawanie *dwóch ruchów* (rys. 34.3):

1) *jednostajnego* – wzdłuż osi OX , ponieważ na ciało wzdłuż tej osi nie działa żadna siła (rzut siły ciężkości na oś OX dorównuje 0);

2) *jednostajnie przyspieszonego* (z przyspieszeniem \vec{g}) – wzdłuż osi OY , ponieważ wzdłuż osi OY na ciało działa siła ciężkości.

Wzdłuż osi OX ciało porusza się jednostajnie, dlatego prędkość v_x ruchu ciała jest stałą i równa się początkowej prędkości v_0 , a zasięg l lotu ciała za czas t równa się iloczynowi początkowej prędkości v_0 i czasu t ruchu ciała:

$$v_x = v_0 ;$$

$$l = v_0 t$$

Wzdłuż osi OY ciało swobodnie spada, dlatego prędkość jego ruchu i wysokość spadania określamy według wzoru:

$$v_y = v_{0y} + g_y t ; \quad h_y = v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}.$$

Z rys. 34.3 widać: $v_{0y} = 0$; $g_y = g$; $h_y = h$, dlatego

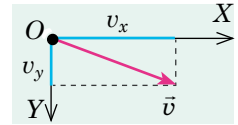
$$v_y = g t ;$$

$$h = \frac{g t^2}{2}$$

Wartość prędkości ruchu ciała w dowolnym punkcie toru obliczymy za pomocą twierdzenia Pitagorasa: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ (rys. 34.4).

Tak jak, $v_x = v_0$, a $v_y = gt$, otrzymujemy:

$$v = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$$



Rys. 34.4. Do obliczenia wartości prędkości ruchu ciała

Zadanie 3. Ze skały o wysokości 20 m do morza poziomo rzucono kamień. Z jaką prędkością rzucono kamień, jeżeli spadł on do wody na odległości 16 m od skały? Jaka będzie prędkość ruchu kamienia w momencie spadania do morza? Oporu powietrza nie uwzględniamy.

Analiza problemu fizycznego. Początkowa prędkość ruchu kamienia jest skierowana poziomo. Kamień swobodnie spada. Więc ruch ciała wzdłuż osi OX jest jednostajny, a wzdłuż osi OY – jednostajnie przyspieszony, bez początkowej prędkości z przyspieszeniem \vec{g} .

Dane:

$$h = 20 \text{ m}$$

$$l = 16 \text{ m}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

Znaleźć:

$$v_0 - ?$$

$$v - ?$$

Poszukiwanie modelu matematycznego, rozwiązywanie

Ze wzoru $h = \frac{gt^2}{2}$ obliczamy czas spadania: $t^2 = \frac{2h}{g} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$.

Wiedząc czas i zasięg lotu kamienia, obliczamy początkową prędkość jego ruchu i prędkość w momencie spadania:

$$l = v_0 t \Rightarrow v_0 = \frac{l}{t}; \quad v = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}.$$

Sprawdzamy jednostki, obliczamy wartość szukanych wielkości:

$$[t] = \sqrt{\frac{\text{m} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}} = \text{s}, \quad t = \sqrt{\frac{2 \cdot 20}{10}} = 2 \text{ (s)}; \quad v_0 = \frac{16 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 8 \text{ m/s};$$

$$[v] = \sqrt{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad v = \sqrt{8^2 + 10^2 \cdot 2^2} = \sqrt{64 + 400} \approx 22 \text{ (m/s)}.$$

Odpowiedź: $v_0 = 8 \text{ m/s}; v \approx 22 \text{ m/s}$.

Pytania kontrolne



1. Jakie uproszczenia przyjmujemy, gdy rozwiązujemy zadania na ruch ciała pod działaniem siły ciężkości? 2. Napisz w ogólnej postaci równania ruchu ciała pod działaniem siły ciężkości. 3. Jaki jest tor ruchu ciała, rzuconego pionowo? poziomo? 4. Jak obliczamy zasięg lotu dla ciała rzuconego poziomo? wysokość jego spadania? wartość prędkości ruchu ciała w dowolnym punkcie toru?

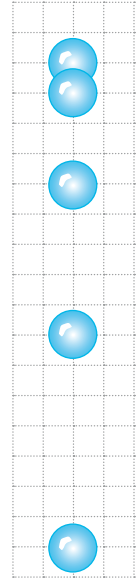
Ćwiczenie nr 34



Wykonując zadania opór powietrza nie uwzględniamy.

1. Jedno ciało rzucono pionowo do góry, drugie – pionowo w dół, trzecie puszczono. Które z ciał porusza się z największym przyspieszeniem?
2. Ciało porusza się tylko pod działaniem siły ciężkości. Układ współrzędnych wybrano tak, że oś OX jest skierowana poziomo, oś OY – pionowo do góry. Opisz za pomocą odpowiedniego rysunku ruch ciała, jeżeli: a) $v_{0x} > 0$, $v_{0y} > 0$; b) $v_{0x} = 0$, $v_{0y} > 0$; c) $v_{0x} = 0$, $v_{0y} < 0$.

3. Piłkę rzucono z powierzchni ziemi pionowo do góry z początkową prędkością 20 m/s. Oblicz: a) prędkość ruchu i przemieszczenie piłki po 3 s od początku ruchu; b) czas i maksymalną wysokość wznoszenia się piłki.
4. Z dachu budynku na wysokości 45 m w kierunku poziomym wyrzucano strzałę z początkową prędkością 20 m/s. Przez jaki odcinek czasu strzała spadnie na ziemię? Oblicz zasięg lotu i przemieszczenie strzały?
5. Dwie kulki znajdują się na jednym pionie w odległości 10 m od siebie. Jednocześnie zostały rzucone: górną kulkę rzucono pionowo w dół z początkową prędkością 25 m/s, a dolną po prostu odpuszczono. Przez jaki czas kulki zderzą się?
6. Na rysunku oznaczono położenie kulki przez każde 0,1 s ruchu. Oblicz przyspieszenie swobodnego spadania kulki, jeżeli bok każdego kwadratu siatki wynosi 5 cm.
7. Z lodowego sopła z dachu spada kropla. Jaka drogę pokona kropla w czwartej sekundzie od momentu spadania?
8. Wykorzystując dane zadania 2 z § 34 oblicz drogę, którą pokonuje każde ciało do momentu spotkania.
9. Ustal związek między siłą i wzorem jej obliczania.



- 1 Siła ciężkości 2. Siła Archimedesesa 3. Siła tarcia 4. Siła sprężystości
 A $F = mg$ B $F = kx$ C $F = \mu N$ D $F = pS$ E $F = \rho gV$



Doświadczenie



Położ na brzegu stołu niewielkie ciężkie ciało i popchnij je. Spróbuj obliczyć nadaną mu prędkość wykorzystując linijkę. Zapisz jak to zrobiłeś.

Fizyka i technika na Ukrainie



Abram Joffe (1880–1960) – wybitny ukraiński radziecki fizyk, akademik, który zapisał się na kartach historii jako „ojciec fizyki radzieckiej”, „tato Joffe”. Główne naukowe osiągnięcia A. Joffe są powiązane z badaniem elektrycznych, fotoelektrycznych i mechanicznych właściwości kryształów. Jako pierwszy wysunął hipotezę o tym, że półprzewodniki mogą zabezpieczyć wydajną przemianę energii promieniowania na energię elektryczną (zgodnie z tą zasadą obecnie rozwija się energetyka słoneczna). Równoległe z Robertem Millikanem uczony po raz pierwszy wyznaczył ładunek elektronu. Był inicjatorem stworzenia fizyko-technicznych uczelni m.in. w Charkowie i Dnieprze, stworzył znaną na całym świecie naukową szkołę.

Pod jego kierownictwem pracowali przyszli zdobywcy nagrody Nobla – P. Kapica, M. Semenow, L. Landau, I. Tamm a także wybitni uczeni, którzy przyczynili się do rozwoju światowej nauki: A. Alichanow, L. Arcymowicz, M. Bronsztejn, J. Zeldowicz, I. Kikoin, B. Konstantynow, I. Kurczatow, J. Charyton i wielu innych.

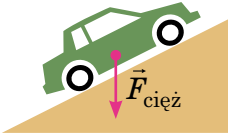
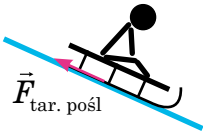
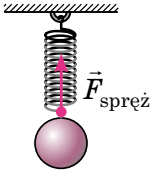
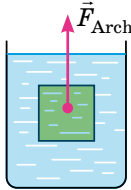
W roku 1960 imieniem A. Joffe nazwano Fizyko-techniczny instytut w Leningradzie (obecnie Sankt Petersburg), ku czci uczonego również nazwano krater na Księżycu, małą planetkę Układu Słonecznego 5222, ulicę w Berlinie (w Niemczech).

§ 35. RUCH CIAŁA POD DZIAŁANIEM KILKU SIŁ

Badając ten paragraf, dowiesz się jak rozwiązywać zadania z dynamiki, zapoznasz się z przykładami rozwiązywania podstawowych zadań. Materiał należy uważnie przestudować, o ile z podobnymi zadaniami będziesz spotykać się badając fizykę.

1 Przypomnijmy o siłach

Ze względu na temat paragrafu najpierw należy przypomnieć sobie definicje sił, z którymi zapoznałeś się ucząc się mechaniki w 7. klasie, wzory ich obliczania i kierunek ich działania.

Siła ciężkości $\vec{F}_{\text{cięż}}$	Siła tarcia poślizgowego \vec{F}_{tar}	Siła sprężystości $\vec{F}_{\text{spręż}}$	Siła Archimedesesa \vec{F}_{Arch}
jest to siła, z którą Ziemia przyciąga ku sobie ciała znajdujące się na jej powierzchni lub w pobliżu	siła, która powstaje na skutek ślizgania się jednego ciała po powierzchni drugiego	siła, która powstaje na skutek odkształcenia ciała	siła wyporu działająca na ciało zanurzone w cieczy lub w gazie
$F_{\text{cięż}} = mg$	$F_{\text{tar}} = \mu N$	$F_{\text{spręż}} = kx$	$F_{\text{Arch}} = \rho_{\text{ciecz(gazu)}} g V_{\text{zan}}$
jest skierowana pionowo w dół i przyłożona do środka ciężkości ciała	skierowana przeciwko ruchowi ciała i działająca wzdłuż powierzchni styku ciał	skierowana przeciwko wydłużeniu i działająca wzdłuż sznura lub sprężyny	skierowana pionowo do góry i przyłożona do środka zanurzonej części ciała
			

2 Uczymy się rozwiązywać zadania

Algorytm rozwiązywania zadania z dynamiki

1. Uważnie przeczytaj warunek zadania. Wyjaśnij, jakie siły działają na ciało, jak ciało porusza się (z przyspieszeniem czy jednostajnie prostoliniowo).
2. Napisz krótki warunek zadania. W razie potrzeby przeprowadź wartości wielkości fizycznych w jednostki SI.
3. Zrób rysunek, na którym zaznacz siły, działające na ciało, kierunek przyspieszenia ciała.

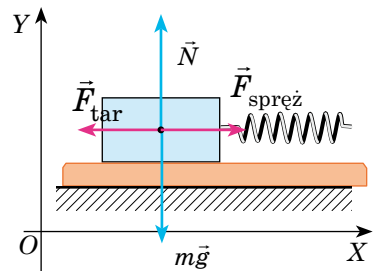
- Wybierz inercjalny układ odniesienia. Osie współrzędnych skieruj tak, żeby jak najwięcej sił było skierowanych wzdłuż tych osi (choć nie zmieni to wyniku rozwiązywania, jednak znacznie go uprości).
- Napisz równanie drugiej zasady Newtona w postaci wektorowej i przez rzuty na osie współrzędnych. Napisz wzory dla obliczenia sił. Rozwiąż otrzymany układ równań, szukając nieznannej wielkości. Jeżeli w zadaniu dane są dodatkowe warunki, wykorzystaj je.
- Sprawdź jednostkę i oblicz wartość szukanej wielkości. Przeanalizuj wynik i napisz odpowiedź.

Podczas rozwiązywania zadań układ odniesienia zwiążemy z punktem nieruchomym względem powierzchni Ziemi (t.z. ciało porusza się, a osie współrzędnych pozostają nieruchome); ciało uważamy za punkt materialny, dlatego wszystkie siły będziemy rysować jako przyłożone do jednego punktu.

Zadanie 1. Klocek drewniany o masie 200 g jest jednostajnie ciągnięty po powierzchni poziomej za pomocą sprężyny o sztywności 40 N/m. Oblicz wydłużenie sprężyny, jeżeli współczynnik tarcia poślizgowego wynosi 0,25.

Analiza problemu fizycznego. W celu wyznaczenia wydłużenia sprężyny należy znać siłę sprężystości, którą obliczymy według drugiej zasady Newtona. Należy uwzględnić, że klocek jest ciągnięty jednostajnie, dlatego przyspieszenie jego ruchu równa się zeru.

Wykonamy rysunek, na którym zaznaczymy siły działające na ciało i kierunki osi współrzędnych.



Dane:

$$m = 200 \text{ g} = 0,2 \text{ kg}$$

$$k = 40 \text{ N/m}$$

$$\mu = 0,25$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

Znaleźć:

$x - ?$

Poszukiwanie modelu matematycznego, rozwiązywanie

Zapiszemy drugą zasadę Newtona w postaci wektorowej:
 $m\vec{g} + \vec{F}_{\text{tar}} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{spręż}} = \mathbf{0}$.

Znajdziemy rzuty sił na osie OX i OY , zapiszemy wzory dla obliczania siły sprężystości i siły tarcia poślizgowego:

$$\begin{cases} OX: -F_{\text{tar}} + F_{\text{spręż}} = 0 \text{ (ponieważ } mg_x = 0, N_x = 0), \\ OY: N - mg = 0 \text{ (ponieważ } F_{\text{tar}y} = 0, F_{\text{spręż}y} = 0), \\ F_{\text{tar}} = \mu N, \\ F_{\text{spręż}} = kx. \end{cases}$$

Rozwiązując układ równań, znajdziemy x :

$$N = mg \Rightarrow F_{\text{tar}} = \mu mg; F_{\text{spręż}} = F_{\text{tar}} \Rightarrow kx = \mu mg \Rightarrow x = \frac{\mu mg}{k}.$$

Sprawdzimy jednostkę, obliczymy wartość szukanej wielkości:

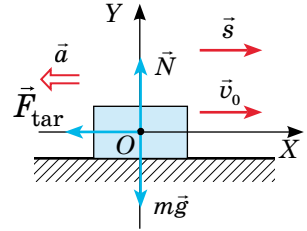
$$[x] = \frac{\text{kg} \cdot \text{m/s}^2}{\text{N/m}} = \frac{\text{N}}{\text{N/m}} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{N}} = \text{m}; \quad x = \frac{0,25 \cdot 0,2 \cdot 10}{40} = 0,0125 \text{ (m)}.$$

Odpowiedź: $x = 12,5 \text{ mm}$.

Zadanie 2. Oblicz drogę hamowania i czas hamowania samochodu, jeżeli poruszał się on prostoliniowym poziomym odcinkiem drogi i przed hamowaniem miał prędkość 54 km/h. Współczynnik tarcia poślizgowego gumy po betonie równa się $-0,75$.

Analiza problemu fizycznego. Aby wyznaczyć drogę hamowania i czas hamowania samochodu należy znać przyspieszenie jego ruchu. Przyspieszenie wyznaczamy przy pomocy drugiej zasady Newtona.

Wykonamy rysunek, na którym zaznaczymy siły działające na samochód, kierunki osi współrzędnych, początkowej prędkości, przemieszczenia i przyspieszenia (samochód zatrzyma się, dlatego końcowa prędkość jego ruchu równa się zero, a kierunek przyspieszenia jest przeciwny do kierunku ruchu).



Dane:

$$\begin{aligned} v_0 &= 54 \text{ km/h} = \\ &= 15 \text{ m/s} \\ \mu &= 0,75 \\ v &= 0 \\ g &= 10 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Znaleźć:

$$\begin{aligned} s &- ? \\ t &- ? \end{aligned}$$

Poszukiwanie modelu matematycznego, rozwiązywanie
Według drugiej zasady Newtona:

$$m\vec{g} + \vec{F}_{\text{tar}} + \vec{N} = m\vec{a}.$$

Znajdziemy rzuty sił i przyspieszenia na osi OX i OY , zapiszemy wzór dla obliczenia siły tarcia poślizgowego:

$$\begin{cases} OX: -F_{\text{tar}} = -ma \text{ (ponieważ } mg_x = 0, N_x = 0), \\ OY: N - mg = 0 \text{ (ponieważ } F_{\text{tar}y} = 0, a_y = 0), \\ F_{\text{tar}} = \mu N. \end{cases}$$

Rozwiązując układ równań znajdziemy a :

$$N = mg \Rightarrow F_{\text{tar}} = \mu mg \Rightarrow \mu mg = ma \Rightarrow a = \mu g.$$

Drogę hamującą i czas ruchu wyznaczamy według wzorów:

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}; \quad v_x = v_{0x} + a_x t.$$

Uwzględniając to, że $v_x = 0$; $v_{0x} = v_0$; $a_x = -a$; $s_x = s$, otrzymamy:

$$s = \frac{v_0^2}{2a}; \quad 0 = v_0 - at. \text{ Wi\k{e}c, } v_0 = at \Rightarrow t = \frac{v_0}{a}. \text{ Wiedząc, że } a = \mu g, \text{ otrzymujemy:}$$

$$s = \frac{v_0^2}{2\mu g}; \quad t = \frac{v_0}{\mu g}.$$

Sprawdzamy jednostki, obliczamy wartości szukanych wielkości:

$$[s] = \frac{\text{m}^2/\text{s}^2}{\text{m}/\text{s}^2} = \frac{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{m}} = \text{m}, \quad s = \frac{15^2}{15} = 15 \text{ (m)}; \quad [t] = \frac{\text{m}/\text{s}}{\text{m}/\text{s}^2} = \frac{\text{m} \cdot \text{s}^2}{\text{m} \cdot \text{s}} = \text{s}, \quad t = \frac{15}{7,5} = 2 \text{ (s)}.$$

Analiza wyników. Otrzymano prawdziwy wynik, przecież droga hamowania samochodu jest dość duża. Pamiętaj o tym i zawsze przestrzegaj zasad ruchu drogowego!

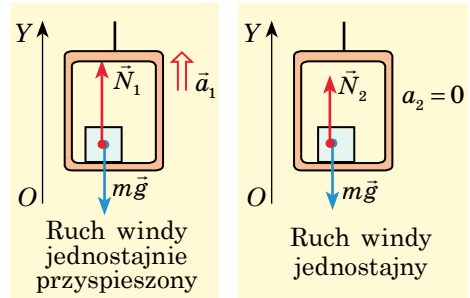
Odpowiedź: $s = 15 \text{ m}$; $t = 2 \text{ s}$.

Zadanie 3. Człowiek o masie 70 kg wchodzi do windy. Winda zaczyna poruszać się z przyspieszeniem $0,2 \text{ m/s}^2$, skierowanym do góry, i następnie podnosi się ze stałą prędkością. O ile zmieni się ciężar człowieka podczas tego ruchu?

Analiza problemu fizycznego. Ciężar ciała jest to siła, która działa na podłoże – windę. Ujawnić wszystkie siły działające na windę nie jest łatwo. Jednak, według trzeciej zasady Newtona, $P = N$ (z jaką siłą ciało działa na podłoże, z taką siłą podłoże działa na ciało).

Więc, należy wyznaczyć siłę reakcji podłoża działającą na człowieka podczas każdego rodzaju ruchu windy.

Wykonamy rysunki, na których zaznaczymy siły działające na człowieka, kierunek przyspieszenia i kierunek osi OY .



Dane:

$m = 70 \text{ kg}$
 $a_1 = 0,2 \text{ m/s}^2$
 $a_2 = 0$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Znaleźć:

$P_1 - P_2 - ?$

Poszukiwanie modelu matematycznego, rozwiązywanie

Zapiszemy drugą zasadę Newtona dla każdego wypadku, znajdziemy rzuty sił i przyspieszenia na oś OY .

1. Ruch jednostajnie przyspieszony: $\vec{N}_1 + m\vec{g} = m\vec{a}_1$;

OY : $N_1 - mg = ma_1 \Rightarrow N_1 = ma_1 + mg = m(a_1 + g)$.

Więc, $P_1 = m(a_1 + g)$.

2. Ruch jednostajny: $\vec{N}_2 + m\vec{g} = 0$;

OY : $N_2 - mg = 0 \Rightarrow N_2 = mg$. Więc, $P_2 = mg$.

Obliczamy wartości szukanych wielkości:

$P_1 = 70(0,2 + 10) = 714 \text{ (N)}$; $P_2 = 70 \cdot 10 = 700 \text{ (N)}$; $P_1 - P_2 = 14 \text{ N}$.

Odpowiedź: $P_1 - P_2 = 14 \text{ N}$.

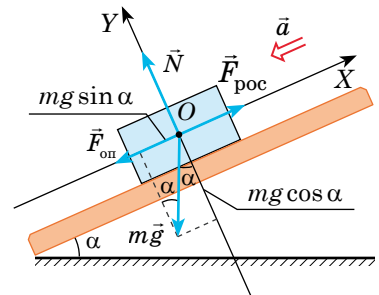
Zadanie 4. Samochód o masie 4 t porusza się pod górę, spowalniając swój ruch. Oblicz siłę pociagową samochodu, jeżeli nachylenie góry wynosi 0,02, współczynnik oporu ruchowi równa się 0,04. Przyspieszenie samochodu równa się $0,15 \text{ m/s}^2$.

Zwróć uwagę! Nachylenie – jest to sinus kąta α nachylenia jezdni do poziomu. Jeżeli nachylenie jest małe (mniejsze od 0,1), to $\cos \alpha \approx 1$. *Współczynnik oporu ruchu* μ uwzględnia wszystkie rodzaje tarcia: tarcie toczone, tarcie poślizgowe w osiach. *Siła oporu* jest skierowana przeciwko kierunkowi ruchu ciała i oblicza się według wzoru $F_{op} = \mu N$, gdzie N – siła reakcji podłoża.

Analiza problemu fizycznego. Na ciało działają cztery siły: siła ciężkości $m\vec{g}$, siła \vec{N} normalnej reakcji podłoża, siła pociagowa \vec{F}_{poc} i siła oporu \vec{F}_{op} .

Ciało zmniejsza swoją prędkość, dlatego przyspieszenie ruchu ciała jest skierowane przeciwko kierunkowi jego ruchu.

Narysujemy rysunek zaznaczając na nim siły, działające na ciało, kierunek przyspieszenia ruchu ciała i kierunki osi współrzędnych.



Dane:

$$m = 4 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$\sin \alpha = 0,02$$

$$\mu = 0,04$$

$$a = 0,15 \text{ m/s}^2$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

Znaleźć:

$$F_{\text{poc}} - ?$$

Poszukiwanie modelu matematycznego, rozwiązywanie.

Zapiszemy drugą zasadę Newtona w postaci wektorowej:

$$\vec{F}_{\text{poc}} + \vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{op}} = m\vec{a}.$$

Zapiszemy równania przez rzuty na osie współrzędnych (siła $m\vec{g}$ nie leży na osi współrzędnych, dlatego, aby znaleźć jej rzuty od końca wektora $m\vec{g}$ narysujemy prostopadłe na osi OX i OY : $mg_x = -mg \sin \alpha$; $mg_y = -mg \cos \alpha$) i zapiszemy wyrażenie dla F_{op} :

$$\begin{cases} OX: F_{\text{poc}} - F_{\text{op}} - mg \sin \alpha = -ma, \\ OY: N - mg \cos \alpha = 0, \\ F_{\text{op}} = \mu N; \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_{\text{poc}} = F_{\text{op}} + mg \sin \alpha - ma \\ N = mg \cos \alpha, \\ F_{\text{op}} = \mu mg \cos \alpha. \end{cases}$$

Rozwiązując układ równań, wyznaczmy F_{op} podstawiając w pierwsze równanie obliczymy F_{poc} :

$$F_{\text{poc}} = \mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha - ma = m(\mu g \cos \alpha + g \sin \alpha - a).$$

Sprawdzamy jednostkę, obliczamy wartość szukanej wielkości:

$$[F_{\text{poc}}] = \text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2 = \text{N}; F_{\text{poc}} = 4 \cdot 10^3 \cdot (0,04 \cdot 10 + 10 \cdot 0,02 - 0,15) = 1,8 \cdot 10^3 \text{ (N)};$$

Odpowiedź: $F_{\text{poc}} = 1,8 \text{ kN}$.



Podsumowanie

Zapoznaliście się z rozwiązywaniem typowych zadań z dynamiki. Wiadomo, że wszystkich rodzajów zadań rozpatrzeć nie możemy. Najważniejsze – otrzymaliście algorytm rozwiązywania zadań i przykłady pracy z nim. A dalej – próbujcie sami.

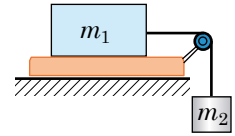
Zatem rozwiązując dowolne zadanie z dynamiki, najpierw narysuj rysunek, wskaż siły, napisz równania drugiej zasady Newtona, wybierz UO, oblicz rzuty. Zazwyczaj należy wiedzieć, jak są skierowane siły, kiedy występują i według jakich wzorów je obliczamy. Następnie, nawet, jeżeli nie możesz od razu rozwiązać zadanie, nic nie szkodzi. Zawsze znajdziesz wielkość, która pomoże ci w rozwiązaniu zadania. Można powiedzieć tak: „Jeżeli nie wiesz, jak rozwiązywać zadanie, to zaczynaj go rozwiązywać”. Ten nie zwycięża, kto nie umie przegrywać. Nauczyć się rozwiązywać zadania z fizyki może każdy, należy tylko je rozwiązywać!



Ćwiczenie nr 35

1. Na starcie statek kosmiczny porusza się pionowo do góry z przyspieszeniem 40 m/s^2 . Z jaką siłą kosmonauta o masie 70 kg działa na siedzenie?
2. Drewniany klocek jest jednostajnie ciągnięty wzdłuż powierzchni poziomej z siłą 1 N . Oblicz współczynnik tarcia poślizgowego, jeżeli masa klocka wynosi 200 g .
3. Ciało o masie 300 g zawieszono na sprężynie jest opuszczane w dół z przyspieszeniem 2 m/s^2 . Oblicz sztywność sprężyny, jeżeli jej wydłużenie wynosiło 5 cm .

- Ładunek o masie 10 kg i objętości 1 dm³ jest wyciągany z wody za pomocą sznura. Oblicz siłę napięcia sznura, jeżeli ładunek porusza się z przyspieszeniem 2 m/s². Oporu wody nie uwzględniaj.
- Narciarz o masie 60 kg zatrzymuje się po 40 s po zakończeniu ruchu. Oblicz siłę tarcia, działającą na narciarza, współczynnik tarcia poślizgowego, jeżeli prędkość ruchu narciarza pod koniec ruchu stanowiła 10 m/s.
- Samochód o masie 3 t zjeżdża z góry rozwijając siłę pociągową równą 3000 N. Oblicz z jakim przyspieszeniem porusza się samochód, jeżeli współczynnik oporu ruchowi równa się 0,04, a nachylenie wynosi 0,03.
- Ciało o masie $m_1 = 1$ kg ślizga się po poziomej powierzchni pod działaniem ciężarka o masie $m_2 = 250$ g (patrz rysunek). Układ ciał porusza się z przyspieszeniem 1,5 m/s². Oblicz współczynnik tarcia pomiędzy ciałem, a powierzchnią.



§ 36. WZAJEMNE ODDZIAŁYWANIE CIAŁ. PĘD CIAŁA. ZASADA ZACHOWANIA PĘDU

Historia pojęcia pędu

W XIV wieku filozof i mechanik francuski *Jean Buridan* (1300–1358) rozwinął znane w filozofii pojęcie „impetus” (bodziec do czegoś, zmuszenie) dla wyjaśnienia przyczyny ruchu ciał. Pisał: „Ręka człowieka, rzucającego kamień, porusza się razem z nim; podczas strzału z łuku cięciwa przez pewien czas porusza się razem ze strzałą, popychając ją... Dopóki to, co pcha, jest w kontakcie z ciałem, dopóty ciało ciągle uzyskuje impetus. Dlatego ruch ciała staje się wciąż szybszy... Po oderwaniu ciało porusza się wyłącznie dzięki impetus, który przez opór środowiska słabnie, prędkość ruchu ciała zmniejsza się.”



Z kursu fizyki klasy 7. wiesz o zasadzie zachowania energii mechanicznej, z kursu fizyki 8. klasy – o zasadzie zachowania ładunku elektrycznego. W tym paragrafie zapoznasz się z jeszcze jedną wielkością fizyczną, która ma właściwość zachowywania się (czyli nie zmienia się podczas wzajemnego oddziaływania ciał).

1

W jakich warunkach układ ciał uważamy za układ zamknięty

Kilka ciał, oddziałujących na siebie, tworzą *układ ciał*. Siły, charakteryzujące oddziaływanie ciał układu na siebie, nazywamy *wewnętrznymi siłami układu*. Jeżeli ciała oddziałują tylko siłami wewnętrznymi, to taki układ ciał nazywamy *zamkniętym*.

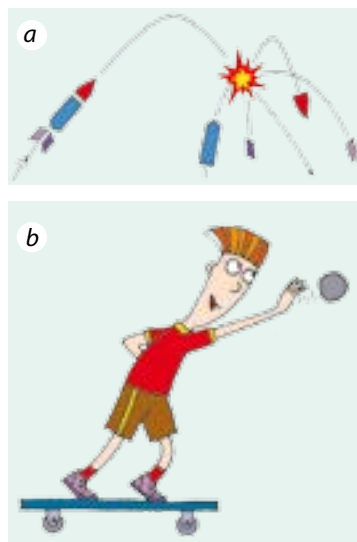
Zamkniętym układem ciał nazywamy układ ciał, na który nie działają siły zewnętrzne, a dowolne zmiany stanu układu będą wynikiem działania wewnętrznych sił układu.

Dokładniej mówiąc, na Ziemi nie możliwe jest znalezienie zamkniętego układu ciał: na dowolne ciało w pobliżu powierzchni Ziemi działa siła ciężkości, dowolnemu ruchowi towarzyszy tarcie. Dlatego układ ciał uważamy za układ zamknięty, jeżeli siły zewnętrzne, działające na układ, są zrównoważone lub o wiele mniejsze od wewnętrznych sił układu.

Na przykład, podczas wybuchu fajerwerku siły zewnętrzne, działające na odłamki (siła ciężkości i siła oporu) są wiele razy

(wielokrotnie) mniejsze od siły oddziaływania tych ułamków (rys. 36.1, *a*), dlatego podczas wybuchu układ ciał „odłamki” można uważać za zamknięty. A po wybuchu, przyciągania Ziemi i oporu powietrza lekceważyć nie można dlatego układ ciał „odłamki” będzie niezamknięty.

Jeżeli człowiek pcha jądro z siłą F , stojąc na łatwo poruszającym się wózku (rys. 36.1, *b*), to układ ciał „człowiek na wózku – jądro” można uważać za zamknięty, ponieważ siła ciężkości równoważy się siłą normalnej reakcji podłoża, a siła tarcia tocznego jest mała. Gdy człowiek pcha jądro, znajdując się na ziemi, to układ ciał „człowiek – jądro” nie jest zamknięty, przez to, że siłę tarcia można porównać z siłą oddziaływania człowieka i jądra.



Rys. 36.1. 1 Jeżeli siły zewnętrzne, działające na układ, są zrównoważone lub są mniejsze od wewnętrznych sił układu, to układ uważamy za zamknięty

2 Wyznaczamy pęd ciała

Przypomnijmy wzór na obliczenie przyspieszenia: $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$ – i zapiszmy drugą zasadę Newtona w postaci:

$$\vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{F} = \frac{m(\vec{v} - \vec{v}_0)}{t}, \text{ lub:}$$

$$\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0$$

W prawej części równości jest zapisana zmiana wektorowej wielkości $m\vec{v}$. Nazywamy tę wielkość *pędem ciała*; $\vec{F}t$ *popędem siły*.

Pęd ciała \vec{p} — wektorowa wielkość fizyczna, równa iloczynowi masy ciała m i prędkości \vec{v} jego ruchu:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

Jednostką pędu ciała w SI jest **kilogram razy metr na sekundę**:

$$[p] = 1 \cdot \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Wykorzystując zasady Newtona udowodnimy: jeżeli ciała tworzą układ zamknięty, to ich wypadkowy pęd podczas wzajemnego oddziaływania nie zmienia się.

3 Zasada zachowania pędu

Zbadamy oddziaływanie wzajemne dwóch ciał o masach m_1 i m_2 (rys. 36.2). Ciała tworzą układ zamknięty i poruszających się z prędkościami \vec{v}_{01} i \vec{v}_{02} .

W wyniku oddziaływania wzajemnego, które trwa określony czas t , oba ciała zmieniają prędkości swego ruchu do \vec{v}_1 i \vec{v}_2 . Ponieważ układ jest zamknięty,

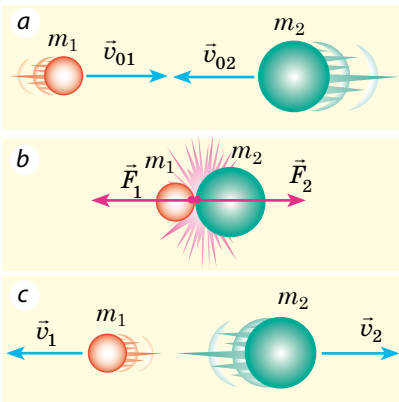
Pęd ciała

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

\vec{p} — pęd ciała

m — masa ciała

\vec{v} — prędkość ruchu ciała



Rys. 36.2. Do wyprowadzenia zasady zachowania pędu dla układu zamkniętego dwóch ciał: *a* – ciała przed oddziaływaniem; *b* – ciała w moment oddziaływania; *c* – ciała po oddziaływaniu



Rys. 36.3. Ruch kul bilardowych po uderzeniu jedna o drugą (*a*); odrzut młota pneumatycznego (*b*). Wszystkie te ruchy ilustrują zasady zachowania pędu

to przyczyną zmiany prędkości ruchu każdego ciała są tylko siły \vec{F}_1 i \vec{F}_2 – wewnętrzne siły układu. Zgodnie z trzecią zasadą Newtona siły te są równe według wartości bezwzględnej i mają przeciwne kierunki: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$.

Zapiszemy dla każdego ciała drugą zasadę Newtona:

$$\vec{F}_1 t = m_1 \vec{v}_1 - m_1 \vec{v}_{01}; \quad \vec{F}_2 t = m_2 \vec{v}_2 - m_2 \vec{v}_{02}.$$

O ile $\vec{F}_1 t = -\vec{F}_2 t$, otrzymujemy:

$$m_1 \vec{v}_1 - m_1 \vec{v}_{01} = -(m_2 \vec{v}_2 - m_2 \vec{v}_{02}).$$

Po przekształceniach otrzymujemy:

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2, \text{ lub}$$

$$\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$

Stąd wynika, że po wzajemnym oddziaływaniu ciał pęd każdego ciała zmienia się, *wypadkowy pęd układu ciał pozostaje niezmienny – zachowuje się.*

Więc, **zasada zachowania pędu:**

W układzie zamkniętym ciał suma geometryczna pędów ciał przed oddziaływaniem równa się sumie geometrycznej pędów ciał po oddziaływaniu.

Zasada zachowania pędu sprawdza się dla zamkniętego układu o dowolnej ilości ciał, – jest to ogólna, fundamentalna zasada fizyki. Dlatego w ogólnym przypadku matematyczne wyrażenie zasady zachowania pędu zapisuje się w postaci:

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} + \dots + m_n \vec{v}_{0n} =$$

$$= m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n,$$

gdzie n – ilość ciał układu.

Z zasadą zachowania pędu stale spotykamy się w przyrodzie, technice, życiu codziennym (rys. 36.3).

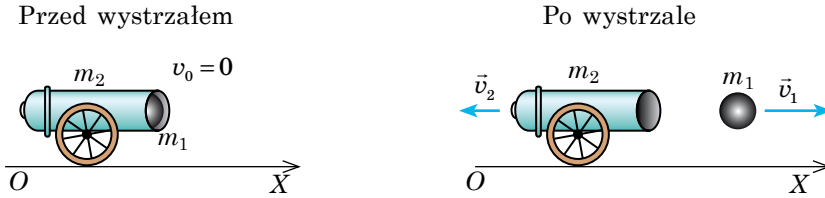
Zwróć uwagę: zasada zachowania pędu sprawdza się tylko dla zamkniętego układu ciał, dlatego przed tym, jak zastosowywać ją do rozwiązywania zadań, należy określić, czy jest dany układ zamknięty.

4 Uczymy się rozwiązywać zadania

Zadanie. Z działa ustawionego na gładkiej poziomej powierzchni poziomo wylatuje pocisk z prędkością 100 m/s. Jaka prędkość uzyska działo po wystrzale, jeżeli masa pocisku równa się 20 kg, a masa działa – 2 t?

Analiza problemu fizycznego. Układ ciał „pocisk–działo” uważamy za zamknięty, o ile siły tarcia są wielokrotnie mniejsze od sił, które powstają podczas strzału. Wybieramy układ odniesienia, związany z powierzchnią Ziemi.

Narysujemy rysunek, na którym zaznaczymy kierunki prędkości ruchu ciał przed i po oddziaływaniu oraz kierunek osi OX :



Dane:

$v_1 = 100$ m/s
 $m_1 = 20$ kg
 $m_2 = 2 \cdot 10^3$ kg
 $v_{01} = v_{02} = 0$

Znaleźć:

v_2 – ?

Poszukiwanie modelu matematycznego, rozwiązywanie

Zapiszemy zasadę zachowania pędu w postaci wektorowej:

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2.$$

Wykorzystując rysunek rzutujemy otrzymane równanie na oś OX : $0 = m_1 v_1 - m_2 v_2$. Skąd wyznaczymy v_2 :

$$m_2 v_2 = m_1 v_1 \Rightarrow v_2 = \frac{m_1 v_1}{m_2}.$$

Sprawdzamy jednostkę, obliczamy wartość szukanej wielkości:

$$[v_2] = \frac{\text{kg} \cdot \text{m/s}}{\text{kg}} = \text{m/s}; \quad v_2 = \frac{20 \cdot 100}{2 \cdot 10^3} = 1 \text{ (m/s)}.$$

Odpowiedź: $v_2 = 1$ m/s.



Podsumowanie

Pędem ciała \vec{p} – nazywamy wektorową wielkość fizyczną, równą iloczynowi masy ciała m i prędkości \vec{v} jego ruchu: $\vec{p} = m\vec{v}$.

Układ ciał uważamy za zamknięty, jeżeli siły zewnętrzne, działające na układ, są zrównoważone lub o wiele mniejsze od wewnętrznych sił układu. W układzie zamkniętym ciał sprawdza się zasada zachowania pędu: w zamkniętym układzie ciał geometryczna suma pędów ciał przed oddziaływaniem równa się geometrycznej sumie pędów ciał po oddziaływaniu: $m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} + \dots + m_n \vec{v}_{0n} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n$, gdzie n – ilość ciał układu.



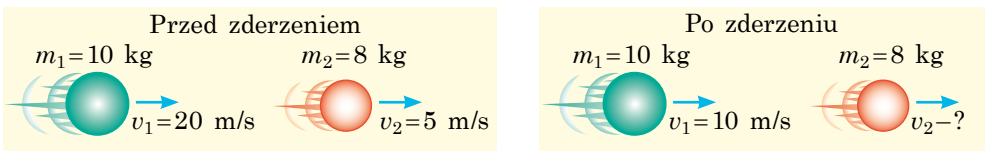
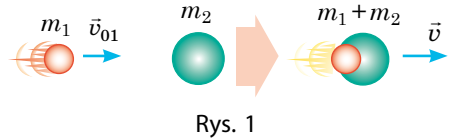
Pytania kontrolne

1. Jaki układ nazywamy zamkniętym? Podaj przykłady. **2.** Podaj definicję pędu ciał. W jakich jednostkach mierzymy pęd ciał w układzie SI? **3.** Sformułuj zasadę zachowania pędu. **4.** Wyprowadź zasadę zachowania pędu dla układu dwóch ciał.



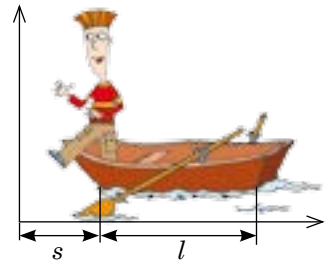
Ćwiczenie nr 36

1. Piłkarz prowadzi piłkę o masie 4,5 kg poruszając się z prędkością 4 m/s względem powierzchni Ziemi. Oblicz pęd piłki względem: a) powierzchni Ziemi; b) piłkarza, który prowadzi piłkę, c) piłkarza, poruszającego się w kierunku lotu piłki z prędkością 5 m/s.
2. Kula o masie 100 g, poruszająca się z pewną prędkością zderza się z kulą nieruchomą o masie 150 g i pozostaje w niej (rys. 1). Oblicz prędkość ruchu kuli przed zderzeniem, jeżeli po zderzeniu układ porusza się z prędkością 10 m/s.
3. Ułóż i rozwiąż zadanie według danych z rys. 2.



Rys. 2

4. Chłopiec o masie 50 kg, stojący w łódce, masa której równa się 150 kg i która porusza się z prędkością 6 m/s, wyskakuje z niej w kierunku poziomym z prędkością 6 m/s. Z jaką prędkością zacznie poruszać się łódka, jeżeli chłopiec wyskoczy z niej: a) w kierunku przeciwnym do ruchu łódki; b) w kierunku ruchu łódki; c) w kierunku ruchu łódki pod kątem 60° do poziomu.
5. Każdemu z was jest znana sytuacja: człowiek wstaje w łodzi i, nie czekając aż ona zatrzyma się, idzie do przodu – w wyniku czego łódź odpływa do tyłu (rys. 3). Wyjaśnij obserwowaną sytuację, stosując zasadę zachowania pędu. Oblicz odległość s , którą przepływa łódź od brzegu, jeżeli masa człowieka wynosi 70 kg, masa łodzi 130 kg, długość $l = 4$ m. Oporu wody nie uwzględniamy.
6. Porównaj swój pęd w czasie biegu na 100 m z pędem kuli. Potrzebne dane wybierz samodzielnie.



Rys. 3

Fizyka i technika na Ukrainie



K. Synelnikow (1901–1966) – wybitny ukraiński fizyk eksperymentator, dr PAN Ukrainy.

Na kartach historii nauki K. Synelnikow zapisał się razem z *I. Kurczatowym*, i jest wybitnym uczonym w dziedzinie fizyki dielektryków i półprzewodników, fizyki jądra atomowego, fizyki plazmy i kontrolowanej syntezy termojądrowej, optyki fizycznej oraz elektronicznej. W latach 1928–1930 K. Synelnikow był na stażu w Cambridge, w laboratorium *E. Rutherforda*. W latach 1944–1965 stał na czele fizyko-technicznego instytutu w Charkowie. Pod jego kierownictwem po raz pierwszy wykonano rozszczepienie jądra litu protonami.

Prezydium PAN Ukrainy ustaliło nagrodę im. K. Synelnikowa za wybitne osiągnięcia w dziedzinie fizyki jądrowej.



§ 37. RUCH ODRZUTOWY. RAKIETY. OSIĄGNIĘCIA W KOSMONAUTYCE

Dzięki czemu poruszają się ludzie, samochody, pociągi, ptaki, motyle? Dlaczego pływają ryby, kutry, łodzie podwodne? Odpowiedź jest prosta: wszystkie wymienione ciała poruszają się dlatego, że od czegoś odpychają się: człowiek, zwierzę, samochód, pociąg – od powierzchni Ziemi; szybowiec, ptaki, motyle – od powietrza; ryby i kutry – od wody. A jak będzie w przypadku latającego statku kosmicznego? Przecież aby zaczął on ruch lub, żeby zmienić jego prędkość, powinien on od czegoś odepchnąć się, a w kosmosie takiej możliwości nie ma. Jednak statki kosmiczne latają w otwarty kosmos, manewrują, wracają na Ziemię. Od czego one odpychają się? Wyjaśnijmy.



Rys. 37.1. Ruch balonika pod działaniem powietrza, które wydostaje się z otworu, jest to ruch odrzutowy

1 Dowiadujemy się o ruchu odrzutowym

Przeprowadźmy doświadczenie. Nadmuchaemy balonik i nie zawiązując nicią otworu, odpuścimy go. Balonik będzie poruszał się do momentu, dopóki z otworu będzie wychodzić powietrze (rys. 37.1). W tym wypadku obserwujemy *ruch odrzutowy*.

Ruch odrzutowy – ruch, który powstaje na skutek oddzielania się od ciała pewnej jego części z określoną prędkością.

Podstawą ruchu odrzutowego jest zasada zachowania pędu. Powróćmy do doświadczenia z balonikiem. Jeżeli otwór balonika jest zamknięty, znajduje się on w stanie spoczynku to pęd układu „balonik – powietrze” równa się zeru.

Gdy otwór otwieramy, to powietrze zacznie wydostawać się na zewnątrz z dość dużą prędkością to znaczy, że nabiera ono pewnego pędu: $\vec{p}_p = m_p \vec{v}_p$. Balonik też uzyskuje pęd: $\vec{p}_b = m_b \vec{v}_b$, który jest skierowany w stronę przeciwną do pędu powietrza.

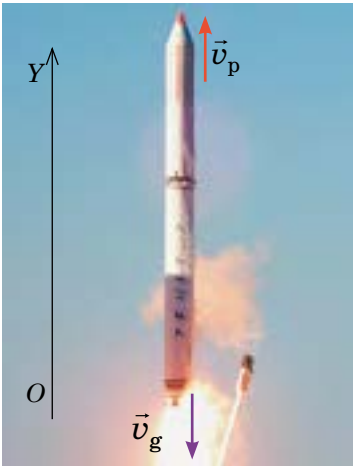
Wyobraźmy sobie, że układ „balonik – powietrze” jest zamknięty. Wtedy, zgodnie z zasadą zachowania pędu, ogólny pęd układu „balonik – powietrze” pozostaje stały i równa się zeru: $m_p \vec{v}_p + m_b \vec{v}_b = 0$.

Więc, prędkość ruchu balonika równa się:

$$\vec{v}_b = -\frac{m_p \vec{v}_p}{m_b}$$

Za prototyp współczesnych silników odrzutowych można uważać „kulę Herona” lub „eolipil”. Dane urządzenie zostało stworzone przez wybitnego starożytnego matematyka i mechanika Herona z Aleksandrii w I w. Para, która wydobywa się ze zgiętych rurek (dysz), umocowanych na kuli, zmusza ją obracać się





Rys. 37.2. Start rakiety Zenit, zbudowanej w Ukrainie

Znak „-” mówi o tym, że balonik porusza się w kierunku, przeciwnym do kierunku ruchu powietrza.

Rozważmy jeszcze jeden przykład – odrzut strzelby, która wykonuje n wystrzałów na sekundę. Oznaczmy masę jednej kuli m_k , jej prędkość w momencie wylotu z działa – \vec{v} . Ogólna zmiana pędu kul za sekundę (prędkość zmiany pędu) będzie równać się $n \cdot m_k \vec{v}$. Siła \vec{F} , działająca na kule, równa się prędkości zmiany pędu kul:

$$\vec{F} = n \cdot m_k \vec{v} .$$

Zgodnie z trzecią zasadą Newtona taka sama siła, równa co do wartości, ale przeciwnie skierowana, działa na strzelbę. Podobnie powstaje odrzutowa siła w rakiecie, gdy z jej dysz wypływa gaz.

2 Badamy odrzutowy ruch rakiety

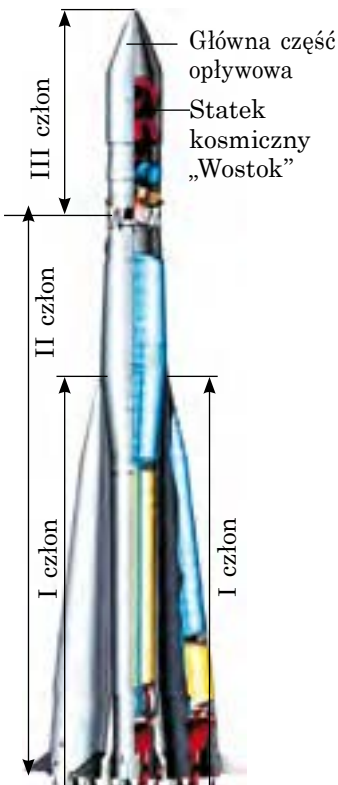
Rakieta – statek latający, przemieszczający się w przestrzeni dzięki sile odrzutowej, powstającej na skutek odrzucania przez raketę części własnej masy.

Częścią, którą oddziela rakieta (ciałem roboczym) jest strumień gorącego gazu, który powstaje podczas spalania paliwa. Gdy strumień gazu z wielką prędkością jest wyrzucany przez dyszę rakiety, to powłoka rakiety nabiera potężnego pędu, skierowany w stronę, przeciwną do prędkości ruchu strumieni (rys. 37.2).

? Silnik rakiety – jest to silnik cieplny. Co jest grzejnikiem w tym silniku? ciałem roboczym? chłodnicą?

Wyobraź sobie sytuację: w momencie startu paliwo rakiety spala się odrazu. Ponieważ przed startem rakieta spoczywa, to zasada zachowania pędu po spalaniu paliwa zapisywałaby się w postaci: $0 = m_p \vec{v}_p + m_g \vec{v}_g$, gdzie $m_p \vec{v}_p$ – pęd powłoki rakiety $m_g \vec{v}_g$ – pęd gazu. Skierujemy oś OY w stronę ruchu rakiety (patrz rys. 37.2); zapiszemy dane równanie przez rzuty na oś: $0 = m_p v_p + m_g v_g$, skąd:

$$v_p = \frac{m_g}{m_p} v_g .$$



Rys. 37.3. Trzyczłonowa rakietoś nośna „Wostok”

Jeżeli zakładamy, że masa paliwa jest cztery razy większa od masy powłoki rakiety ($m_g = 4 m_p$), a prędkość strumienia odrzutowego gazu $v_g = 2$ km/s (prawie z taką prędkością z dyszy rakiety wylatuje rozżarzony gaz), otrzymamy prędkość ruchu powłoki rakiety: $v_p = 4 v_g$ km/s*

Zatem gdyby paliwo rakiety spalało się natychmiast, to prędkość, uzyskana przez raketę, byłaby wystarczająca do tego, aby wyprowadzić raketę na orbitę Ziemi. Jednak w rzeczywistości paliwo spala się stopniowo, i na ruch rakiety zauważalnie wpływa opór powietrza. Obliczenia pokazują, że dla osiągnięcia niezbędnej prędkości masa paliwa powinna być 200 razy większa od masy powłoki rakiety, co technicznie jest niemożliwe do zrealizowania.

Jeszcze na początku XX w. udowodniono, że jednoczłonowa raketa nie może opuścić Ziemię. Jest to możliwe tylko dla wieloczłonowych rakiet: w takich raketach człony z pustymi zbiornikami paliwowymi są odrzucane podczas lotu (następnie są spalane w atmosferze przez tarcie o powietrze). Przy tym masa rakiety zmniejsza się i, odpowiednio, zwiększa się prędkość jej ruchu. Zaznaczymy, że wszystkie rakiety nośne statków kosmicznych, i te pierwsze, i te, które są wykorzystywane obecnie, są raketami wieloczłonowymi.

Na rys. 37.3 przedstawiono trzyczłonową raketę nośną „Wostok”. Składa się ona z czterech bocznych bloków (pierwszy człon), rozmieszczonych dookoła centralnego bloku (drugi człon). Statek kosmiczny znajduje się w trzecim członie, w miejscu, które chroni go przed aerodynamicznymi obciążeniami w czasie lotu w gęstych warstwach atmosfery. Każdy blok ma swoje silniki odrzutowe.

12 kwietnia 1961 r. raketa nośna „Wostok” wyprowadziła na orbitę statek kosmiczny „Wostok”, w którym znajdował się pierwszy na świecie kosmonauta *J. Gagarin* (rys. 37.4). Lot został wykonany dzięki inicjatywie i pod kierownictwem wybitnego konstruktora *S. Korolowa* (1907–1966), który pochodził z Żytomierza.



Rys. 37.4. Jurij Gagarin (1934–1968) – radziecki lotnik-kosmonauta, pierwszy człowiek, który dokonał lotu w kosmos (12 kwietnia 1961 r.)

Pytania kontrolne



1. Podaj określenie ruchu odrzutowego.
2. Opisz doświadczenia obserwacji ruchu odrzutowego.
3. Napisz zasadę zachowania pędu dla ruchu rakiety zakładając, że jej paliwo spala się natychmiast w momencie startu.
4. Dlaczego do wyprowadzenia rakiety z powierzchni Ziemi na żadaną orbitę stosowane są wieloczłonowe rakiety?
5. Podaj nazwisko pierwszego na świecie kosmonauty i nazwisko konstruktora, pod kierownictwem którego dokonano pierwszego lotu w kosmos.

* Zaznaczymy: 8 km/s jest to *pierwsza prędkość kosmiczna*. Taką prędkość powinno posiadać ciało w momencie wystrzelenia z powierzchni Ziemi, aby stać się jej sztucznym satelitą.



Ćwiczenie nr 37

1. „Kóło Segnera” (rys. 1) – urządzenie wynalezione przez mechanika *Johanna von Segnera* (czyt. Jonasz Segner) (1704–1777), stosowane obecnie do podlewania trawników. Przyjrzyj się rys. 1 i wyjaśnij, jak działa to urządzenie. Czy można „kóło Segnera” uważać za silnik odrzutowy? Odpowiedź uzasadnij.
2. Prędkość strzelania z karabinu maszynowego, który prawdopodobnie widzieliście w filmie „Matrix” sięga 10 000 strzałów na minutę; wypuszcza ono kule o masie 10 g z prędkością 600 m/s. Jaka jest siła odrzutowa takiej broni? Czy rzeczywiście można z niej strzelać, trzymając w rękach?
3. Od rakiety poruszającej się z prędkością 2,4 km/s odłącza się pierwszy człon o masie równej $\frac{1}{4}$ masy rakiety. Z jaką prędkością zacznie poruszać się rakietka, jeżeli prędkość ruchu pierwszego członu po odłączeniu się wynosi 900 m/s względem rakiety?
4. Za pomocą dodatkowych źródeł informacji dowiedz się o ukraińskich kosmonautach.
5. Wykorzystując dodatkowe źródła informacji dowiedz się, jak porusza się kałamarnica; jakie jeszcze istoty żywe wykorzystują ruch odrzutowy; gdzie w przyrodzie można jeszcze obserwować ruch odrzutowy. Podaj krótką informację.



Rys. 1



Rys. 2



Doświadczenie

Z plastikowej butelki i rurek koktajlowych sporządź „kóło Segnera” (rys. 2) i sprawdź, jak ono działa.

Fizyka i technika na Ukrainie



S. Korolow (1906–1966) – akademik, ukraiński, radziecki uczoney o światowej sławie w dziedzinie raketobudownictwa i kosmonautyki, konstruktor pierwszych sztucznych satelitów Ziemi i statków kosmicznych.

Pod kierownictwem S. Korolowa opracowano i stworzono szereg unikalnych rakiet nośnych, które dokonały wielkiego postępu w dziedzinie badań kosmicznych: wyprowadzenie na orbitę pierwszego w historii sztucznego satelity Ziemi (1957 r.); pierwszy w historii lot kosmiczny kosmonauty *J. Gagarina* na statku „Wostok” (12 kwietnia 1961 r.); wyprowadzenie na orbitę pierwszego statku z wieloosobową załogą (12 października 1964 r.); pierwsze wyjście w otwarty kosmos kosmonauty *O. Leonowa* (18 marca 1965 r.). *S. Korolow* wychował licznych następców – uczonych, konstruktorów, inżynierów.

Ciekawe jest to, że pierwszy kosmonauta, pochodzący z Ukrainy, *P. Popowycz*, rakiety z którym w 1962 roku wyprowadził na orbitę *S. Korolow*, zaśpiewał z kosmosu ulubioną piosenkę dla konstruktora naczelnego „Patrzę się w niebo...”

W Żytomierzu, na ojczyźnie konstruktora, założono muzeum kosmonautyki im. *S. Korolowa*. W centrum miasta stoi jego pomnik.



§ 38. ZASTOSOWANIE PRAW ZACHOWANIA ENERGII I PĘDU W ZJAWISKACH MECHANICZNYCH

Wiele zadań praktycznych łatwiej jest wykonać stosując prawa zachowania – prawo zachowania pędu i prawo zachowania i przemiany energii, ponieważ te prawa można wykorzystać również wtedy, gdy siły działające w układzie nie są znane. Przypomnijmy sobie zatem, jakie istnieją rodzaje energii mechanicznej i rozwiążmy kilka zadań na zastosowanie praw zachowania.

1 Przypominamy o energii mechanicznej

Energia (z gr. „działalność”) – wielkość fizyczna, która jest ogólną miarą ruchu i wzajemnego oddziaływania wszystkich rodzajów materii.

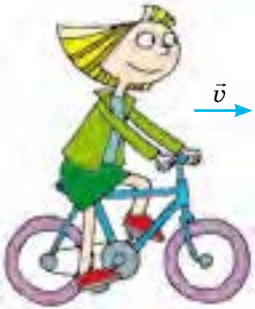
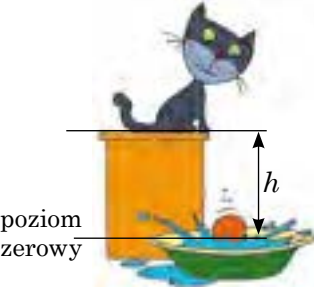

Energię oznaczamy symbolem E (lub W). Jednostką energii w SI jest **dżul**:

$$[E] = 1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

W mechanice będziemy mówić o *energii mechanicznej*.

Energia mechaniczna jest to wielkość fizyczna, która jest miarą ruchu i wzajemnego oddziaływania ciał, charakteryzująca zdolność ciał do wykonywania pracy mechanicznej.

Rodzaje energii mechanicznej

Energia kinetyczna E_k – to energia, którą posiadają ciała na skutek swego ruchu	Energia potencjalna E_p – to energia uwarunkowana wzajemnym oddziaływaniem ciał lub ich części	
$E_k = \frac{mv^2}{2}$ <p>m – masa ciała v – wartość bezwzględna prędkości ruchu ciała</p> 	E_p podniesionego ciała: $E_p = mgh$ <p>m – masa ciała h – wysokość względem zerowego poziomu</p> 	E_p sprężyste odkształconej sprężyny (sznura): $E_p = \frac{kx^2}{2}$ <p>k – sztywność sprężyny (sznura) x – wydłużenie</p> 

Suma energii kinetycznej i potencjalnej ciała (układu ciał) – jest to **całkowita energia mechaniczna ciała** (układu ciał): $E = E_k + E_p$

Badając energię mechaniczną w klasie 7. dowiedziałeś się, że w przypadku, *gdy układ ciał jest zamknięty, a ciała układu oddziałują na siebie tylko siłami sprężystości i siłami ciężkości, całkowita energia mechaniczna układu nie zmienia się.*

Na tym polega **prawo zachowania i przekształcenia energii mechanicznej**, które matematycznie zapisywane jest w postaci:

$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p,$$

gdzie $E_{k0} + E_{p0}$ – całkowita energia mechaniczna układu ciał na początku obserwacji; $E_k + E_p$ – całkowita energia mechaniczna układu ciał na końcu obserwacji.

2

Przypominamy algorytm rozwiązywania zadań na prawo zachowania energii

Algorytm rozwiązywania zadań na zastosowanie prawa zachowania energii mechanicznej

1. Uważnie przeczytaj warunek zadania. Wyjaśnij, czy układ jest zamknięty, czy można nie uwzględniać działania sił oporu. Zapisz krótki warunek zadania.
2. Wykonaj rysunek, na którym zaznacz zerowy poziom, początkowy i końcowy stan ciała (układu ciał).
3. Zapisz prawo zachowania i przekształcenia energii mechanicznej. Skonkretyzuj je, wykorzystując dane z warunku zadania i odpowiednie wzory do obliczania energii.
4. Rozwiąż otrzymane równanie względem szukanej wielkości. Sprawdź jednostkę i oblicz wartość liczbową.
5. Przeanalizuj wynik i zapisz odpowiedź.

Ponieważ prawo zachowania energii istotnie upraszcza rozwiązanie wielu zadań praktycznych, rozpatrzmy algorytm rozwiązywania podobnych zadań na konkretnym przykładzie.

Zadanie 1. Uczestnik atrakcji skoku na badzi wykonuje skok z mostu (patrz rysunek). Oblicz sztywność liny gumowej, do której jest przywiązany sportowiec, jeżeli podczas spadania rozciąga się ona od 40 do 100 m. Masa sportowca wynosi 72 kg, początkowa prędkość jego ruchu równa się zeru, oporu powietrza nie uwzględniamy.

Analiza problemu fizycznego. Oporu powietrza nie uwzględniamy, dlatego układ ciał „Ziemia – człowiek – lina” możemy uważać za zamknięty i rozwiązując zadanie zastosujemy prawo energii mechanicznej: na początku skoku sportowiec posiada energię potencjalną podniesionego ciała, w najbliższym punkcie ta energia przekształca się na energię potencjalną odkształconej liny.



Dane:

$$l_0 = 40 \text{ m}$$

$$l = 100 \text{ m}$$

$$m = 72 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

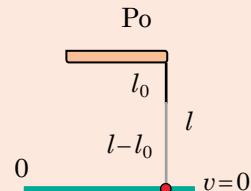
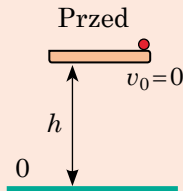
$$v_0 = 0$$

Znaleźć:

 $k - ?$

Poszukiwanie modelu matematycznego, rozwiązywanie

Wykonaj rysunek, na którym zaznacz początkowe i końcowe położenie sportowca. Za poziom zerowy obierz najniższe położenie sportowca (lina jest rozciągnięta maksymalnie, prędkość ruchu sportowca równa się 0). Zapisz prawo zachowania energii mechanicznej.



$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p.$$

$$E_{k0} = 0 \text{ (ponieważ } v_0 = 0);$$

$$E_k = 0 \text{ (ponieważ } v = 0);$$

$$E_{p0} = mgh, \text{ gdzie } h = l - \text{ długość}$$

$$E_p = \frac{kx^2}{2}, \text{ gdzie } x = l - l_0 - \text{ wy-}$$

$$\text{dłużenie liny}$$

$$\text{Więc: } 0 + mgl = 0 + \frac{k(l-l_0)^2}{2}. \text{ W wyniku otrzymujemy: } k = \frac{2mgl}{(l-l_0)^2}.$$

Sprawdzamy jednostkę, obliczamy wartość szukanej wielkości:

$$[k] = \frac{\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{m}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}}; \quad k = \frac{2 \cdot 72 \cdot 10 \cdot 100}{(100 - 40)^2} = \frac{2 \cdot 72 \cdot 1000}{3600} = 40 \text{ (N/m)}.$$

Odpowiedź: $k = 40 \text{ N/m}$.

3 Rozwiązujemy zadanie z jednoczesnym zastosowaniem prawa zachowania energii mechanicznej i prawa zachowania pędu

Czy grałeś w bilard? Spróbujmy opisać jeden z przypadków zderzenia się kul bilardowych, a właściwie **centralne sprężyste uderzenie** – uderzenie, podczas którego nie ma strat energii mechanicznej, a prędkości ruchu kul przed i po uderzeniu są skierowane wzdłuż prostej, przeprowadzonej przez ich środki.

Zadanie 2. Kula, tocząca się po stole bilardowym, z prędkością 5 m/s zderza się z nieruchomą kulą o takiej samej masie (patrz rysunek). Oblicz prędkości ruchu kul po zderzeniu. Uderzenie uważaj za centralne sprężyste.

Analiza problemu fizycznego. Układ dwóch kul uważamy za zamknięty, uderzenie jest sprężyste, dlatego nie ma strat energii mechanicznej. Dlatego aby rozwiązać zadanie, należy wykorzystać prawo zachowania energii mechanicznej i prawo zachowania pędu. Za poziom zerowy uważamy powierzchnię stołu. W danym przypadku potencjalne energie kul przed i po uderzeniu równają się zero, dlatego całkowita energia mechaniczna układu przed i po uderzeniu składa się tylko z kinetycznych energii kul.



Dane:

$$v_{01} = 5 \text{ m/s}$$

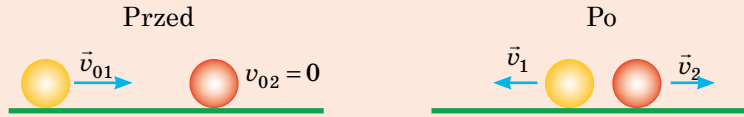
$$v_{02} = 0$$

$$m_2 = m_1 = m$$

Znaleźć:

$$v_1 - ? \quad v_2 - ?$$

Poszukiwanie modelu matematycznego, rozwiązywanie. Wykonaj rysunek, na którym zaznacz położenie kul przed i po uderzeniu.



Dla układu dwóch kul zapiszemy prawo zachowania pędu i prawo zachowania energii mechanicznej (uważamy, że $v_{02} = 0$):

$$\begin{cases} m\bar{v}_{01} = m\bar{v}_1 + m\bar{v}_2 \\ \left| \frac{mv_{01}^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} \right| \times 2 : m, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \bar{v}_{01} = \bar{v}_1 + \bar{v}_2, \\ v_{01}^2 = v_1^2 + v_2^2. \end{cases} \quad \text{Zapiszemy rzuty prędkości na}$$

oś OX : $\begin{cases} v_{01} = -v_1 + v_2, \\ v_{01}^2 = v_1^2 + v_2^2. \end{cases}$ ponieważ, $v_{01} = 5 \text{ m/s}$, to: $\begin{cases} 5 = -v_1 + v_2, \\ 25 = v_1^2 + v_2^2. \end{cases}$

Rozwiązując ostatni układ otrzymamy: $v_1 = 0$; $v_2 = 5 \text{ m/s}$.

? Rozwiąż ostatni układ równań samodzielnie.

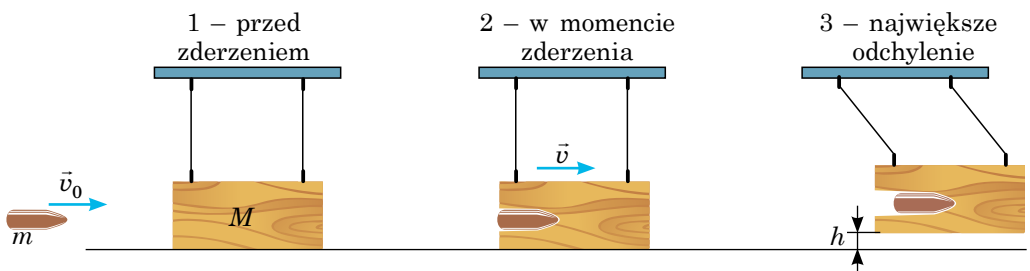
Analiza wyników. Widzimy, że kule „wymieniły się” prędkościami: kula 1 zatrzymała się, a kula 2 uzyskała prędkość kuli 1 przed uderzeniem. Zaznaczymy: w przypadku centralnego sprężystego uderzenia dwóch ciał o jednakowej masie, te ciała „wymieniają się” prędkościami niezależnie od tego, jakie były początkowe prędkości ruchu tych ciał.

Odpowiedź: $v_1 = 0$; $v_2 = 5 \text{ m/s}$.

4 Rozwiązujemy zadanie, w którym kolejno stosujemy prawo zachowania energii mechanicznej i prawo zachowania pędu

Jeżeli chcesz dowiedzieć się, z jaką prędkością wylatuje strzała wystrzelona z łuku lub jaka jest prędkość ruchu kuli karabinu, pomoże ci w tym proste urządzenie – *wahadło balistyczne* – zawieszony na metalowych prętach ciężkie ciało. Wyjaśnijmy, jak oblicza się prędkość ruchu kul za pomocą tego urządzenia.

Zadanie 3. Kula o masie 0,5 g trafia w zawieszony na prętach drewniany klocek o masie 300 g i zatrzymuje się w nim. Oblicz, z jaką prędkością poruszała się kula, jeżeli po trafieniu kuli w klocek, podniósł się on na wysokość 1,25 cm (patrz rysunek).



Analiza problemu fizycznego. Klocek uzyskuje prędkość po trafianiu w niego kuli. Czas oddziaływania jest bardzo krótki, dlatego w ciągu tego czasu układ „kula – klocek” można uważać za zamknięty i można zastosować prawo zachowania pędu. Prawa zachowania energii mechanicznej zastosować nie możemy, ponieważ istnieje siła tarcia.

W momencie, gdy kula zatrzymała się w środku klocka i zaczął on odchyłać się, możemy nie uwzględniać działania siły oporu powietrza i zastosować prawo zachowania energii mechanicznej dla układu „Ziemia – klocek”. W tym czasie pęd klocka będzie zmniejszał się, ponieważ działanie pręta nie będzie równoważyć działania Ziemi.

Dane:

$$m = 0,5 \text{ g} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \\ M = 300 \text{ g} = 0,3 \text{ kg} \\ h = 1,25 \text{ cm} = 0,0125 \text{ m}$$

Znaleźć:

$$v_0 - ?$$

Poszukiwanie modelu matematycznego, rozwiązywanie

Zapiszemy prawo zachowania pędu dla położenia 1 i 2 (patrz rysunek), uwzględniając to, że w położeniu 1 klocek spoczywa, a położeniu 2 klocek i kula poruszają się razem: $m\vec{v}_0 + M \cdot 0 = (m + M) \cdot \vec{v}$. Rzutujemy otrzymane równanie na oś OX :

$$m v_0 = (m + M) \cdot v \Rightarrow v_0 = \frac{(m + M) \cdot v}{m} \quad (1).$$

Zapiszemy prawo zachowania energii mechanicznej dla położen 2 i 3:

$$E_{k2} + E_{p2} = E_{k3} + E_{p3}.$$

$$E_{k2} = \frac{(m + M) \cdot v^2}{2};$$

$$E_{k3} = 0 \text{ (klocek na zerowym poziomie);}$$

$$E_{p2} = 0 \text{ (klocek zatrzymał się).}$$

$$E_{p3} = (M + m)gh.$$

$$\text{Więc: } \frac{(m + M) \cdot v^2}{2} = (M + m)gh.$$

$$\text{Po uproszczeniu } (M + m) \text{ otrzymujemy: } \frac{v^2}{2} = gh, \text{ lub } v = \sqrt{2gh} \quad (2).$$

Podstawiając wyrażenie (2) do wyrażenia (1) otrzymujemy *wzór dla wyznaczania prędkości ruchu ciała za pomocą balistycznego wahadła*:

$$v_0 = \frac{(m + M) \cdot \sqrt{2gh}}{m}.$$

Sprawdzamy jednostkę, obliczamy wartość szukanej wielkości:

$$[v_0] = \frac{\text{kg} \cdot \sqrt{\text{m/s}^2} \cdot \text{m}}{\text{kg}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}; \quad v_0 = \frac{300,5 \cdot 10^{-3} \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,0125}}{0,5 \cdot 10^{-3}} \approx 300 \text{ (m/s)}.$$

Odpowiedź: $v_0 \approx 300 \text{ m/s}$.



Zamiast podsumowania

Rozpatrzyliśmy kilka przykładów rozwiązywania zadań. Na pierwszy rzut oka wydaje się, że i pęd i energia mechaniczna nie zawsze zachowują się. W stosunku do pędu to nie sprawdza się. *Prawo zachowania pędu jest to ogólne prawo Wszechświata.* I jakby „pojawienie się” pędu (patrz zadanie 1 w § 38) czy jego „zniknięcie” (patrz zadanie 3 w § 38, położenie ciał 2 i 3) tłumaczą się tym, że

Ziemia też uzyskuje pęd. Właśnie dlatego, rozwiązując zadania, będziemy „szukać” układu zamkniętego.

Lecz *energia mechaniczna w rzeczywistości nie zawsze się zachowuje*. Układ może otrzymać dodatkową energię mechaniczną, jeżeli siły zewnętrzne wykonują dodatnią pracę (na przykład, rzuciłeś piłkę). Układ może tracić część energii mechanicznej, gdy siły zewnętrzne wykonują pracę ujemną (na przykład, rower zatrzymał się na skutek działania siły tarcia). Jednak energia całkowita (suma energii, którą posiadają ciała układu i cząstki, z których te ciała składają się) *zawsze pozostaje stała*. *Prawo zachowania energii – jest ogólnym prawem Wszechświata.*



Ćwiczenie nr 38

Wykonując zadanie 2–4 oporu powietrza nie uwzględniamy.

1. Ładunek o masie 40 kg jest zrzucany z samolotu. W momencie, gdy samolot znajduje się na wysokości 400 m prędkość ruchu ładunku osiąga 20 m/s, zaczyna on poruszać się jednostajnie. Oblicz: 1) całkowitą energię mechaniczną ładunku na wysokości 400 m; 2) całkowitą energię mechaniczną ładunku w momencie lądowania; 3) energię, na którą zamieniła się część mechanicznej energii ładunku.

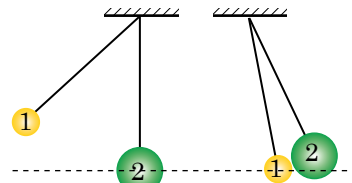
2. Kulkę rzucono poziomo z wysokości 4 m z prędkością 8 m/s. Oblicz prędkość ruchu kulki w momencie spadania.

Rozwiąż zadanie na dwa sposoby: 1) rozglądając ruch kulki jako ruch ciała rzuconego poziomo; 2) stosując prawo zachowania energii mechanicznej. Jaki sposób w danym przypadku jest bardziej dogodny?

3. Kulka z plasteliny 1 o masie 20 g oraz trzykrotnie większa od niej według masy kulka 2 są zawieszona na niciach. Kulkę 1 odchyłono od położenia równowagi na wysokość 20 cm i odpuszczono. Kulka 1 zderzyła się z kulką 2 i przyczepiła się do niej (rys. 1).

Oblicz: 1) prędkość ruchu kulki 1 przed zderzeniem; 2) prędkość ruchu kulek po zderzeniu; 3) maksymalną wysokość, na którą podniosą się kulki po zderzeniu.

4. Kulka o masie 10 g wylatuje ze sprężynowego pistoletu, trafia w środek zawieszona na niciach klocka z plasteliny o masie 30 g i przyczepia się do niego. Na jaką wysokość podniesie się klocek, jeżeli przed wystrzałem sprężynę została ściśnięta na 4 cm, a sztywność sprężyny wynosi 256 N/m?

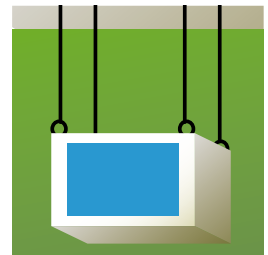


Rys. 1



Doświadczenie

„Balistyczne wahadło”. Sporządź balistyczne wahadło (rys. 2). W tym celu z papierowego pudełka wytnij przednią ściankę, zrób z plasteliny jeszcze jedno pudełko, mniejsze od papierowego, wstaw jedno do drugiego i zawieś na niciach w taki sposób, jak pokazano na rys. 2. Sprawdź, jak działa urządzenie mierząc, na przykład, prędkość ruchu kulki dziecięcego sprężynowego pistoletu. Do obliczeń wykorzystaj wzór otrzymany w trakcie rozwiązywania zadania 3 w § 38.



Rys. 2

PRACA LABORATORYJNA NR 7



Temat. Badanie prawa zachowania energii mechanicznej.

Cel: przekonać się doświadczalnie, że całkowita energia mechaniczna zamkniętego układu ciał pozostaje stała, jeżeli w układzie działają tylko siły ciężkości i sprężystości.

Przyrządy: statyw, siłomierz, komplet ciężarków, linijka o długości 40–50 cm, gumowy sznur o długości 15 cm, ołówek, dratwa.

Wiedza teoretyczna

Dla wykonania pracy możemy wykorzystać model przedstawiony na rys. 1. Poprzednio zaznaczając na linijce położenie wskaźnika w przypadku nieobciążonego sznura (0), do pętli sznura zawieszamy ciężarek, który następnie odciągamy w dół (1), wydłużając go o x_1 (rys. 2).

W położeniu 1 całkowita energia mechaniczna układu „sznur – ciężarek – Ziemia” równa się energii potencjalnej rozciągniętego sznura:

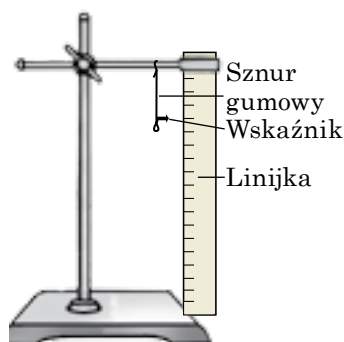
$$E_1 = \frac{kx_1^2}{2} = \frac{F_1x_1}{2}, \quad (1)$$

gdzie $F_1 = kx_1$ – wartość bezwzględna siły sprężystości sznura przy jego rozciąganiu o x_1 .

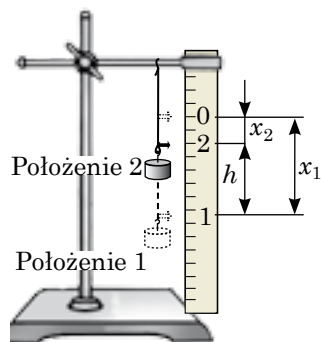
Następnie ciężarek odpuszcza się i zaznacza się położenie wskaźnika w tym momencie, gdy ciężarek osiąga maksymalną wysokość (2). W tym położeniu całkowita energia mechaniczna układu równa się sumie potencjalnej energii podniesionego na wysokość h ciężarka i potencjalnej energii rozciągniętego sznura:

$$E_2 = \frac{kx_2^2}{2} + mgh = \frac{F_2x_2}{2} + P \cdot h, \quad (2)$$

Gdzie $F_2 = kx_2$ – wartość bezwzględna siły sprężystości sznura przy rozciąganiu o x_2 ; $P = mg$ – ciężar ciężarka.



Rys. 1



Rys. 2

WYKONANIE PRACY

II Przygotowanie się do doświadczenia

1. Przed rozpoczęciem pomiaru przypomnij sobie:
 - 1) zasady bezpieczeństwa podczas wykonywania prac laboratoryjnych;
 - 2) prawo zachowania całkowitej energii mechanicznej.
2. Przeanalizuj wzory (1) i (2) i pomyśl jakie pomiary należy zrobić, aby wyznaczyć całkowitą mechaniczną energię układu w położeniach 1 i 2. Ułóż plan przeprowadzenia doświadczenia.

3. Złóż urządzenie według rys. 1.
4. Ciągnąc za dolną pętelkę pionowo w dół wyprostuj sznur, nie rozciągając go. Zaznacz na linijce ołówkiem położenie wskaźnika w przypadku nieobciążonego sznura i zaznacz go 0.

Doświadczenie

Przestrzegaj regułę bezpieczeństwa (patrz wykłejkę).

Wyniki pomiarów zanotuj w tabeli.

1. Za pomocą siłomierza wyznacz ciężar P ciężarka.
2. Zaczep ciężarek za pętelkę, odcinając go w dół, zaznacz na linijce wskazania wskaźnika, obok napisz cyfrę 1.
3. Opuść ciężarek. Zaznacz położenie wskaźnika w momencie, gdy ciężarek osiągnie największą wysokość, w tym miejscu napisz 2. *Zwróć uwagę:* jeżeli 2 znajduje się wyżej od 0 – doświadczenie należy powtórzyć, zmniejszając rozciągnięcie sznura i zmieniając przy tym położenie 1.
4. Zmierz siłę sprężystości F_1 i F_2 , które powstają w gumowym sznurze, gdy go rozciągamy odpowiednio o x_1 i x_2 . Dlatego zdejmij ciężarek i za pomocą siłomierza rozciągnij sznur najpierw do 1, a następnie do 2.
5. Mierząc odległości między 1 i 2, oblicz wydłużenie x_1 i x_2 gumowego sznura, a także maksymalną wysokość h podnoszenia ciężarka (patrz rys. 2).
6. Powtórz czynności opisane w punktach 1–5, zawieszając na sznurze dwa ciężarki jednocześnie.

Nr doświadczenia	Ciężar ciężarka P , N	Wydłużenie sznura		Siła sprężystości		Wysokość podnoszenia h , m	Całkowita energia mechaniczna	
		x_1 , m	x_2 , m	F_1 , N	F_2 , N		E_1 , J	E_2 , J
1								
2								

Opracowanie wyników doświadczenia

1. Dla każdego doświadczenia wyznacz:
 - 1) całkowitą energię mechaniczną układu w 1;
 - 2) całkowitą energię mechaniczną układu w 2.
2. Wypełnij tabelę.

Analiza wyników doświadczenia

Przeanalizuj doświadczenie i jego wyniki. Sformułuj wniosek, w którym: 1) porównaj otrzymane wartości całkowitej energii mechanicznej układu 1; układu 2; 2) zaznacz przyczyny możliwej niewłaściwości wyników; 3) wskaź wielkości fizyczne, pomiar których, twoim zdaniem, daje największy błąd pomiaru.

* **Zadanie „z gwiazdką”**

Według wzoru $\varepsilon = \left| 1 - \frac{E_1}{E_2} \right| \cdot 100\%$ oblicz względny błąd pomiaru.

+ **Zadanie twórcze**

Weź niewielki balonik na długiej nici. Do nici przywiąż gumowy sznur i trzymając za balonik, z siłą pociągnij sznur w dół. Zmierz wydłużenie sznura. Odpuść balonik. Zmierz wysokość, na którą on podniesie się. Oblicz sztywność sznura i oblicz tę wysokość teoretycznie. Porównaj wynik obliczenia z wynikiem doświadczenia.

§ 39. FUNDAMENTALNE ODDZIAŁYWANIA W PRZYRODZIE. ZAKRESY STOSOWANIA FIZYCZNYCH PRAW I TEORII. FUNDAMENTALNY CHARAKTER ZASAD ZACHOWANIA

Badając Wszechświat, uczeni zawsze zadawali się szeregiem pytań, wśród których: „Jak jest zbudowany Wszechświat, czyli jaka jest jego struktura?”, „W jaki sposób z niewielkich cegiełek materii tworzy się różnorodność zjawisk przyrody i obiektów?”, „Czy jednakowe prawa opisują różne zjawiska przyrody?”. Badając fizykę próbowaliśmy odpowiedzieć na te pytania. Zróbmy uogólnienie.

1 **Odpowiadamy na pytanie: „Jaka jest budowa Wszechświata?”**

Udostępnioną do obserwacji część świata materialnego nazywamy **Wszechświatem**.

Wszystkie obiekty Wszechświata oraz zachodzące w nim zjawiska nauka dzieli na trzy jakościowo różne poziomy: *mikroświat*, *makroświat*, *megaświat*. Obiekty każdego poziomu Wszechświata różnią się masą i rozmiarami:

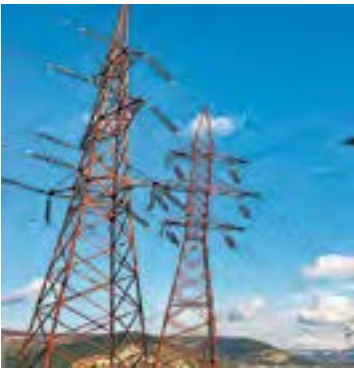
Strukturalne poziomy Wszechświata		
Mikroświat	Makroświat	Megaświat
Świat cząsteczek, atomów i ich cząstek	Świat substancji, istot żywych, makrociał	Świat planet, gwiazd, skupisk gwiazd – galaktyk
Rozmiary 10^{-18} – 10^{-10} m Masa nie więcej, niż 10^{-10} kg	Rozmiary 10^{-10} – 10^7 m Masa 10^{-10} – 10^{20} kg	Rozmiary powyżej 10^7 m Masa powyżej 10^{20} kg

? Podaj przykłady obiektów mikroświata; makroświata; megaświata.

Każdy strukturalny poziom Wszechświata jest opisywany przez własną teorię fizyczną. Ruch i oddziaływanie obiektów mikroświata opisuje *mechanika kwantowa*. W makroświecie rządzi *mechanika klasyczna*, podstawą której są zasady mechaniki Newtona. Megaświat – jest to, przede wszystkim, obiekt *mechaniki relatywistycznej*, podstawą której jest teoria względności A. Einsteina.



Rys. 39.1. *Klasyczna mechanika Newtona sprawdza się tylko w przypadku opisywania ruchu ciał z prędkościami o wiele mniejszą od prędkości rozchodzenia się światła. Ruch ciał, prędkość których jest w przybliżeniu równa prędkości światła (na przykład ruch dalekich galaktyk), opisuje szczególnie teoria względności*



Rys. 39.2. Promieniowanie fal elektromagnetycznych przez zmienny prąd elektryczny wyjaśnia się za pomocą *klasycznej elektrodynamiki* Maxwella, promieniowanie światła przez atom (elektromagnetyczne fale optycznego zakresu) można wyjaśnić za pomocą *elektrodynamiki kwantowej*, która zawiera klasyczną elektrodynamikę jako część składową

2 Dowiadujemy się dlaczego prawa i teorie fizyczne mają granice zastosowania

Zapoznając się z p. 1 paragrafu, niektórzy z was będą zdziwieni. Dlaczego, na przykład, zasady mechaniki Newtona nie możemy stosować do opisywania ruchu mikrocząstek? Przecież są to zasady! Jednak przypomnijmy sobie, jak powstaje teoria fizyczna.

Jeżeli badamy pewien proces fizyczny (obserwujemy go, przeprowadzamy doświadczenia, wykonujemy obliczenia), to nie pragniemy ogarnąć wszystkich zjawisk, obserwowanych w trakcie tego procesu, nie uwzględniamy wpływu wszystkich czynników. Obieramy wyłącznie czynniki, które poważnie wpływają na proces, czyli budujemy *fizyczny model* procesu. Wykorzystanie takiego modelu pozwala wyjaśnić przyrodę szeregu zjawisk fizycznych, sformułować prawa, które je opisują. Zbiór praw fizycznych tworzy *teorię fizyczną*.

Ponieważ do tworzenia teorii wykorzystujemy fizyczny model procesu, a nasza wiedza o tym procesie ogranicza się określoną ilością znanych na ten czas danych, nie ma nic dziwnego, że z czasem gromadzą się nowe dane, które nie będą już mieścić się w granicach stworzonej przez nas teorii. Czyli okaże się, że nasza teoria ma *granice zastosowania*. Nowe dane doprowadzą do tworzenia nowej teorii, która zazwyczaj będzie zawierać poprzednią teorię jako część składową, a nie będzie ją zaprzeczać (rys. 39.1, 39.2).

3 Fundamentalne oddziaływania we Wszechświecie

? Przypomnij sobie naukę fizyki i chemii. Dzięki jakiemu oddziaływaniu utrzymują się w jądrze nukleony? elektrony w atomie? atomy w cząsteczce? człowiek w pobliżu planety? planeta obok Słońca?

Spodziewamy się, że odpowiedziałeś na te pytania, podając trzy znane ci rodzaje oddziaływań: *silne, elektromagnetyczne, grawitacyjne*. Właśnie oddziaływanie uwarunkowuje łączenie „cegiełek” materii w atomy, atomów i cząsteczek – w substancję itd. Dowolne właściwości ciał i dowolne zjawiska są związane oddziaływaniem.

Obecnie w nauce rozróżniamy cztery fundamentalne oddziaływania: grawitacyjne, elektromagnetyczne, silne, słabe.

W ciągu kilku dziesięcioleci uczeni próbują stworzyć teorię uniwersalnego oddziaływania. Pewne osiągnięcia już są znane. Na koniec lat 60. ubiegłego stulecia udało się stworzyć teorię, nazwaną *oddziaływaniem słabym*, która połączyła elektromagnetyczne i słabe oddziaływania. Jednak na połączenia wszystkich rodzajów oddziaływań jeszcze nie czas.

Fundamentalne oddziaływania w przyrodzie			
Grawitacyjne	Elektromagnetyczne	Silne	Słabe
Dowolne obiekty materialne we Wszechświecie przyciągają się wzajemnie.	Elektryczne oddziaływanie naładowanych ciał i cząstek; magnetyczne przyciąganie i odpychanie ruchomych naładowanych cząstek i namagnesowanych ciał.	Oddziaływanie nukleonów w jądrze niezależnie od ich ładunku.	„Odpowiada” za β -rozpad jąder atomowych i powolne rozpady cząstek.
Ujawnia się na dowolnych odległościach.	Ujawnia się na dowolnych odległościach.	Ujawnia się na odległościach rzędu 10^{-15} m (rozmiary nukleonu).	Ujawnia się na odległościach rzędu 10^{-18} m.
Powstanie i istnienie planet, planetarnych gwiazdnych układów, galaktyk.	Powstanie i istnienie atomów, cząsteczek, ciał fizycznych; powstanie sygnałów radiowych, impulsów nerwowych.	Istnienie i trwałość jąder atomowych	β -rozpad jąder atomowym.
		Blask gwiazd.	

4 Dowiadujemy się o fundamentalności zasad zachowania w przyrodzie

Przestrzeń oraz czas są to pewne miejsca, w których „odbywają” się wszystkie zjawiska i procesy we Wszechświecie. Dlatego nie ma nic dziwnego w tym, że właśnie z fundamentalnymi właściwościami przestrzeni i czasu są powiązane najbardziej ważne prawa Wszechświata – prawa zachowania. Prawa nazywamy *fundamentalnymi* przez to, że pasują one do obiektów makroświata, mikroświata oraz megaświata, – *te prawa sprawdzają się podczas dowolnego oddziaływania*.

Przez długi czas uczeni intuicyjnie domyślali się o tym, że każde prawo zachowania jest powiązane z określoną symetrią we Wszechświecie (rys. 39.3).

W 1918 r. wybitny niemiecki matematyk *Amalie Emmy Noether* (1882–1935) (czyt. Neter) udowodniła twierdzenie, zgodnie z którym *każdej ciągłej symetrii fizycznego układu odpowiada określone prawo zachowania*. Prawo zachowania energii jest skutkiem jednorodności czasu* – symetrii względem zsuwu w czasie; prawo

* *Jednorodność przestrzeni i czasu* świadczy o tym, że fizyczne właściwości i zjawiska są jednakowe w dowolnym miejscu przestrzeni, w dowolny moment czasu.



Rys. 39.3. Najprostsza symetria w przyrodzie

zachowania pędu jest skutkiem jednorodności przestrzeni – symetrii względem przesuwania w przestrzeni.

Jednym ze skutków praw zachowania jest przewidywanie niemożliwości niektórych procesów, ponieważ te prawa pozwalają wyciągać uogólnione wnioski nawet bez szczegółowej informacji. Na przykład, wiesz, że rzeczą niemożliwą jest stworzenie wiecznego silnika: właściwie idea jego istnienia zaprzecza się prawem zachowania i przemiany energii.

Wiesz o trzech fundamentalnych prawach zachowania: *prawie zachowania i przemiany energii*, *prawie zachowania pędu*, *prawie zachowania ładunku elektrycznego*. Rozpatrzmy przejawy prawa zachowania i przemiany energii.

4

Rozpatrzmy przejawy prawa zachowania i przemiany energii

Prawo zachowania i przemiany energii świadczy o tym, że *energia z niczego nie powstaje, i nigdzie nie znika, tylko przekazuje się od jednego ciała do drugiego, przemienia się z jednej postaci w inną*.

Rodzaje energii w przyrodzie						
Mecha- niczna	Wewnętrzna			Elektromagnetyczna		
	Ciepłna	Che- miczna	Jądrowa	Elek- tryczna	Magne- tyczna	Wypro- mienio- wania
Energia ruchu i oddziaływania ciał lub części ciała	Energia bezwładnego ruchu i oddziaływania cząstek substancji	Energia związków chemicznych	Energia „zachowana” w jądrach atomów	Energia prądu elektrycznego	Energia magnesów trwałych i elektromagnesów	Energia fal elektromagnetycznych

Rozpatrzmy procesy przemiany energii na przykładach.

Przykład 1. Na rys. 39.4 przedstawiono dwa łańcuchy *przemiany energii słonecznej*. Zaobserwuj łańcuch naturalny (rys. 39.4, b).

Energia jądrowa, która uwalnia się na Słońcu podczas reakcji jądrowych, przemienia się w energię promieniowania.

Trafiając na zielone liście, ta energia jest pochłaniana przez chlorofil i przemienia się na energię chemiczną substancji odżywczych.

Zużywając energię chemiczną, zachowaną przez rośliny (jedzenie), organizm człowieka przemienia ją na chemiczną energię komórki.

Zgromadzona chemiczna energia, na przykład w mięśniach człowieka, przemienia się na energię mechaniczną (kinetyczną energię ruchu).

? Spróbuj opisać przemiany energii słonecznej w technice (rys. 39.4, a).



Rys. 39.4. Przemiana energii słonecznej w technice (a) i w przyrodzie (b)

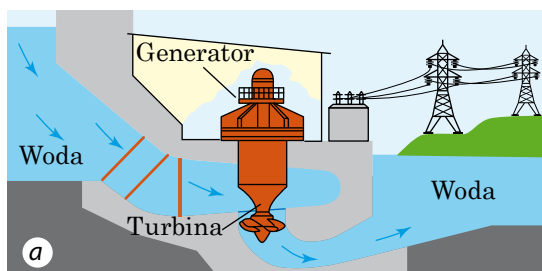
Przykład 2. Rozpatrzmy „*ruch*” energii podczas pracy elektrowni wodnej (rys. 39.5). Tamta przegradziła rzekę – powstał zbiornik wodny, poziom wody w którym jest wyższy, niż poziom wody poza tamą, dlatego woda w zbiorniku wodnym ma energię potencjalną.

Padając z wysokości, woda traci energię potencjalną i uzyskuje energię kinetyczną.

Trafiając na tarcze turbiny, woda przekazuje im swoją energię kinetyczną i turbina otrzymuje kinetyczną energię obrotu.

Turbina obraca wirnik generatora elektrycznego, w którym energia mechaniczna obrotu przemienia się w energię elektryczną.

Energia elektryczna przez przewody elektryczne dochodzi do żarówek w twoim mieszkaniu i przemienia się w nich w energię świetlną i ciepłą.



Rys. 39.5. Elektrownia wodna: a – schemat pracy; b – wygląd (Dnieprowska elektrownia wodna)

Podczas każdego z procesów część energii przemienia się w energię wewnętrzną (ogrzewanie wody, łożysk turbiny i generatora, przewodów).

W każdym z podanych łańcuchów energia przemienia się z jednego rodzaju w inny, jednak *ogólna ilość energii pozostaje stała* (energia zachowuje się). Gdy dodamy wszystkie wartości, które odpowiadają różnym energiom, to suma zawsze będzie jednakowa.



Podsumowanie

Widoczną dla obserwacji część świata materialnego nazywamy Wszechświatem. Wszystkie obiekty Wszechświata i należące im zjawiska nauka dzieli na trzy jakościowo różne poziomy: mikroświat, makroświat i megaświat.

Wszystkie zjawiska fizyczne oraz istnienie obiektów Wszechświata wyjaśnia się na podstawie fundamentalnych rodzajów oddziaływania: grawitacyjnego, elektromagnetycznego, silnego i słabego.

Wszechświat istnieje w przestrzeni i czasie, właściwości których wyjaśniają istnienie fundamentalnych praw zachowania – praw, które opisują wszystkie procesy dowolnego poziomu strukturalnego Wszechświata. Do takich praw należy, na przykład prawo zachowania i przemiany energii i prawo zachowania pędu.

Każda teoria fizyczna ma granice stosowania. Wraz z pojawieniem nowej wiedzy, pojawia się nowa teoria, która, zazwyczaj, zawiera poprzednią teorię jako część składową.



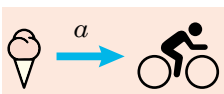
Pytania kontrolne

1. Podaj przykłady obiektów każdego poziomu strukturalnego Wszechświata.
2. Jaka teoria opisuje mikroświat? makroświat? megaświat?
3. Dlaczego każda teoria ma granice stosowania?
4. Wymień znane ci fundamentalne oddziaływania. Podaj przykłady ich wyrażenia.
5. Z jaką właściwością przestrzeni i czasu jest powiązane prawo zachowania i przemiany energii? prawo zachowania pędu?
6. Podaj znane ci rodzaje energii?
7. Podaj przykłady wyrażenia prawa zachowania i przemiany energii.

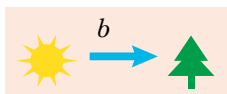


Ćwiczenie nr 39

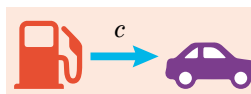
1. Pośród dobrych rad gospodarczych jest taka: gdy w zimie trzymasz ziemniaki na balkonie, to trzymaj je w pojemniku, w którym umocuj żarówkę i periodycznie ją włączaj. W jakim celu należy to robić? Czy w ciemności jest zimniej niżeli przy świetle?
2. Na rys. 1 przedstawiono kilka przykładów przemiany energii. Jaka energia i w jaką przemienia się w każdym wypadku?
3. Jakie przemiany energii zachodzą podczas wypuszczania na orbitę kosmiczną statku? podnoszenia się windy? wbijania gwoźdźcia do deski?
4. Według danych rys. 2, określ sprawność samochodu.



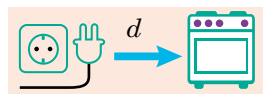
Jedzenie daje energię dla ruchu człowiekowi



Słońce daje energię roślinom



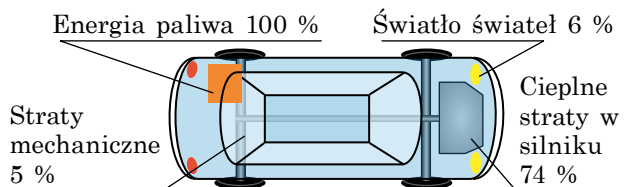
Paliwo daje energię samochodom



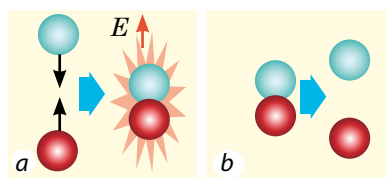
Włączona elektryczna kuchenka nagrzewa się

Rys. 1

- Podczas łączenia się dwóch cząstek powstała cząstka bardziej złożona. Przy tym wydzieliła się energia całkowita E (rys. 3, a). Tę cząstkę zniszczono, czyli wróciła ona do początkowego stanu (rys. 3, b). Wydzieliła się czy pochłania się przy tym energia? Ile energii wydzieliła się czy pochłania się przy tym?
- Za pomocą promieniotwórczego szeregu Toru (patrz rys. 23.9), zapisz jeden β -rozpady i jeden α -rozpady. Udowodnij, że podczas tych reakcji sprawdza się prawo zachowania ładunku elektrycznego.



Rys. 2



Rys. 3



Doświadczenie

Za pomocą hula-hopu, sznura, metra krawieckiego oraz stopera udowodnij prawidłowość prawa zachowania energii mechanicznej.

- Zmierz długość hula-hopu i zawieś go tak, aby punkty zawieszenia znajdowały się w wierzchołkach równobocznego trójkąta (rys. 4).
- Zakręć hula-hopem tak, aby sznur w górnym punkcie został zakręcony.
- Zmierz wysokość h , na którą podniósł się przy tym hula-hop.
- Odpuść hula-hop – zacznie on się kręcić. Gdy prędkość obrotu hula-hopu przybliży się do maksymalnej (sznur prawie całkowicie się rozkręci), wyznacz prędkość ruchu punktów hula-hopu. Dla tego zmierz czas pięciu pełnych obrotów, oblicz okres obrotu T stosując wzór $v=l/T$, gdzie l – długość hula-hopu.
- Wyznacz stosunki energii kinetycznej ruchu punktów hula-hopu i energii potencjalnej podniesionego hula-hopu. Wyciągnij wnioski.



Rys. 4

Fizyka i technika na Ukrainie



Wiktor Głuszkow (1923–1982) – znany ukraiński uczyony, akademik, autor fundamentalnych prac w dziedzinie cybernetyki, matematyki, informatyki, założyciel i pierwszy dyrektor Instytutu Cybernetyki PAN Ukrainy.

Pierwsze opracowania Instytutu Cybernetyki są to maszyny elektroniczne „Kijów” oraz uniwersalna maszyna sterująca „Dniepr”. Pierwszą maszyną, stosowaną w obliczeniach inżynierskich jest maszyna elektroniczna „Promień” ze stopniowym sterowaniem mikroprogramowym, następnie są to unikalne układy obliczeniowe „MIR-1”, „MIR-2”, „MIR-3”. Z czasem idee Głuszkowa zostały zrealizowane przez jego uczniów podczas tworzenia najszybszych na ten czas układów ES-2701 oraz ES-1766 o wydajności powyżej 1 mlrd operacji na sekundę.

Dzięki inicjatywie W. Głuszkowa w 1969 r. na Uniwersytecie Kijowskim im. T. Szewczenki został założony Wydział Cybernetyki. W 1982 r. ufundowano nagrodę im. W. Głuszkowa za wybitne prace naukowe w dziedzinie cybernetyki, ogólnej teorii maszyn obliczeniowych i układów.

§ 40. EWOLUCJA FIZYCZNEGO OBRAZU ŚWIATA. FIZYKA A NAUKOWO-TECHNICZNY POSTĘP

Badałeś fizykę przez trzy lata i już zapoznałeś się z podstawowymi rozdziałami tej nauki – mechaniką, optyką, zjawiskami elektrycznymi i in.; dowiedziałeś się o tym, co w fizyce nazwano prawami; o tym, jak odbywają się badania zjawisk fizycznych. Ciągłe przypominaliśmy, w jaki sposób osiągnięcia uczonych fizyków zostały zastosowane w przyrządach, maszynach, urządzeniach co zmieniło na lepsze życie człowieka. Jednak szybki rozwój techniki ma też negatywne skutki. W tym paragrafie omówimy pytania ewolucji fizycznego obrazu świata oraz współzależności fizyki i rozwoju społeczeństwa.



Rys. 40.1. Dawne wyobrażenie o budowie świata (rycina)



Rys. 40.2. Za pomocą kosmicznego teleskopu udało się sfotografować Mgławicę Orła – skupisko gwiazd, znajdujących się na odległości 7000 lat świetlnych od Ziemi

1

Dowiadujemy się o ewolucji fizycznego obrazu świata

W ciągu tysięcy lat człowiek interesowało pytanie: czym jest otaczający Wszechświat? Jaka jest jego „budowa”? zgodnie z jakimi prawami się rozwija?

Starożytni filozofowie uważali Ziemię za środek Wszechświata. Uważali oni, że jest ona płaska i otoczona olbrzymią kryształową sferą (rys. 40.1).

W średniowieczu, dzięki pracom Galileusza, Mikołaja Kopernika został ukształtowany *heliocentryczny układ świata* – zgodnie z którym Słońce znajduje się w środku Wszechświata, a wszystkie ciała, w tym też planety (i między innymi Ziemia), krążą wokół Słońca.

W ciągu ostatnich 100 lat wiedza o Wszechświecie bardzo się rozszerzyła. *Ogólna teoria względności* Alberta Einsteina wyjaśniła istnienie wielu tajemniczych obiektów Wszechświata, na przykład czarnych dziur. Dzięki radioteleskopom, które pracują w różnych zakresach elektromagnetycznych fal, zwiększyły się możliwości otrzymywania informacji o przestrzeni kosmicznej.

Aparaty kosmiczne przeleciały obok wszystkich planet Układu Słonecznego, zrobiły zdjęcia ich powierzchni „z bliska”, odwiedziły Mars, Wenus, Księżyc i inne ciała niebieskie. Z 1990 r. na ziemskiej orbicie pracuje teleskop „Hubble’a”, dzięki któremu udało się „zobaczyć” obiekty dalekich galaktyk (rys. 40.2).

Jednocześnie z badaniem obiektów megaświata i makroświata uczeni badają świat cząstek, atomów i ich części – mikroświat.

Pierwotne wyobrażenia o budowie atomu powstały około 2,5 tysięcy lat temu. Były one względne i opierały się na logicznych myśleniach filozofów starożytnej Grecji. W XIX w. pojawiły się pośrednie potwierdzenia atomistycznej budowy materii, które były oparte na unikalnych doświadczeniach (rys. 40.3).

Dopiero w końcu XIX – na początku XX w. pojawiły się niezaprzeczalne potwierdzenia *atomowo-jądrowej struktury materii* (rys. 40.4). Za pomocą współczesnych bardzo precyzyjnych mikroskopów, stworzonych w końcu zeszłego wieku (tunelowy, autoelektroniczny, autojonowy, elektroniczny), udało się sfotografować odrębne atomy (rys. 40.5).

2

Zapoznajemy się z rozwojem wyobrażeń o naturze światła

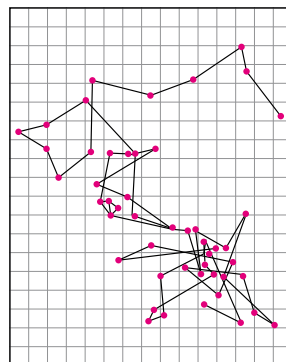
Od czasów starożytnego filozofa Arystotelesa i do dzisiaj nauka fizyczna próbuje stworzyć jednolity obraz świata. Od samego początku badania natury badacze próbowali odnaleźć jedyną teorię, która opisywałaby i megaświat, i makroświat, i mikroświat.

Po raz pierwszy udało się tego dokonać na przełomie XVII–XVIII w. podczas badania natury światła. Prawie jednocześnie dwaj wybitni fizycy stworzyli dwie zupełnie odmienne teorie światła. Mówimy o korpuskularnej teorii *I. Newtona* i falowej teorii *Ch. Huygensa*.

Zgodnie z *korpuskularną teorią Newtona światło jest strumieniem cząstek (korpuskuł) wysyłanych przez ciała świetlne*, przy czym ruch korpuskuł świetlnych podporządkowuje się zasadom mechaniki. Odbicie światła Newton tłumaczył odbiciem korpuskuł od powierzchni, na którą pada światło, a załamanie światła – zmianą prędkości korpuskuł na skutek ich oddziaływania z cząstkami ośrodka.

„Dzieło o świetle” Huygensa, wydane w 1690 r., weszło do historii nauki jako pierwsza praca naukowa w dziedzinie *optyki falowej*.

Zwolennikami falowej teorii światła byli tacy wybitni uczeni, jak *M. Łomonosow* i *L. Euler* (czyt. Ejler), jednak do końca XVIII w. ogólnie przyjętą pozostawała korpuskularna teoria Newtona. Tak było do początku XIX w., dopóki nie pojawiły się prace angielskiego fizyka *Thomasa Younga* (czyt. Janga) (1773–1829) i francuskiego fizyka *Augustyna Jeana Fresnela* (1788–1827). Badając światło, uczeni obserwowali zjawiska właściwe tylko falam: omijanie światłem przeszkód (dyfrakcja) i



Rys. 40.3. Kopia rysunku francuskiego fizyka *Jeana Baptista Perrina* (1870–1942), na którym odzwierciedlono wyniki obserwacji przez mikroskop *cząsteczki Browna* – drobnej cząsteczki substancji zawieszanej w cieczy. Ruch cząsteczek Browna spowodowany bezwładnymi uderzeniami o nich cząsteczek, potwierdza atomistyczną budowę materii



Rys. 40.4. Ślady α -cząstek w urządzeniu rejestrującym cząsteczki naładowane (komora Wilsona)



Rys. 40.5. Mikroskop elektroniczny

wzmacnianie i wygaszanie światła w wypadku nakładania się wiązek świetlnych (interferencja). Od tego czasu w nauce bardziej rozpowszechnioną jest **falowa teoria Huygensa**.

W latach 60. XIX w. *J. Maxwell* stworzył teorię pola elektromagnetycznego, jednym ze skutków której było ustalenie możliwości istnienia fal elektromagnetycznych. Zgodnie z obliczeniami, prędkość rozchodzenia się fal elektromagnetycznych równa się prędkości światła. Na podstawie teoretycznych badań Maxwell wnioskował, że *światło – to fale elektromagnetyczne*. *H. Hertz* doświadczalnie udowodnił, że *światło ma naturę elektromagnetyczną*.

Elektromagnetyczna teoria światła pozwoliła wyjaśnić wiele zjawisk optycznych, jednak już na koniec XIX w. okazało się, że ta teoria nie potrafi wyjaśnić zjawisk wynikających podczas oddziaływania światła z substancją. Procesy promieniowania i pochłaniania światła, zjawisko fotoelektryczne i in. udało się wyjaśnić dopiero w pierwszej połowie XX w. – z punktu widzenia **kwantowej teorii światła**, zgodnie z którą światło promieniuje, rozchodzi się i jest pochłaniane przez substancję nie w sposób ciągły, a odrębnymi porcjami – *kwantami*. Każdy odrębny kwant światła ma charakter cząstki, a kwanty zachowują się podobnie do fali. Taka podwójna natura światła (oraz dowolnej cząstki) otrzymała nazwę **dualizm korpuskularno-falowy**.

Zatem po kilkuset latach dwie zupełnie różne teorie „połączyły się”. Jednocześnie pojawiły się inne potwierdzające dane. Gdy uczeni zaczęli badać procesy fizyczne zachodzące w gwiazdach, okazało się, że „świecenie się” tych olbrzymich skupisk jest związane ze strukturą i właściwościami najmniejszych na ten czas znanych obiektów – jąder atomowych.

Dlatego, olbrzymie przyspieszacze, stworzone dla badania mikrostruktury materii, odpowiedziały nie tylko na pytanie: „Jaka jest budowa jądra atomowego?”, lecz i na inne: „Dlaczego świeci Słońce?”

Uczeni są przekonani, że więcej zagadnień Wszechświata zostanie wyjaśnione po otrzymaniu wiedzy o właściwościach cząstek elementarnych. W tym celu stworzono najbardziej potężny z przyspieszaczy – *kolajder hadronowy* (patrz rys. 22.1). Zaczął on pracować w 2008 r. dzięki wysiłkom uczonych wielu państw.

3

Podsumowujemy znaczenie fizyki w postępie naukowo-technicznym

Naukowo-techniczny postęp – to jedyny wzajemnie uwarunkowany stopniowy rozwój nauki i techniki.

Badając fizykę w 9. klasie, podobnie jak wcześniej, niejednokrotnie zwracaliśmy uwagę na ścisły związek pomiędzy fizyką a techniką. W ciągu prawie 25

stuleci istnienia nauki fizycznej, wyniki jej badań rozpowszechniały się nie tylko na wyjaśnienie natury budowy świata. W swoich pracach uczeni-fizycy (na przykład starożytni Grecy, przede wszystkim *Archimedes*) ciągle próbowali wyjaśnić zastosowanie tych czy innych technicznych urządzeń z punktu widzenia nauki.

W XIX w. pojawiła się nowa tendencja: prawa fizyczne nie tylko zostały zastosowane do wyjaśnienia (polepszenia) już wynalezionych przez inżynierów konstrukcji, lecz i stały się „pożywieniem dla umysłu” w trakcie tworzenia nowych kierunków rozwoju techniki. Podamy kilka przykładów.

Do XIX w. elektryczność była wykorzystywana wyłącznie do salonowych rozrywek (rys. 40.6). Około połowy XIX w., po ustaleniu praw fizycznych, związanych z przepływem i działaniem prądu elektrycznego (prawa Ohma, prawa indukcji elektromagnetycznej i in.), zaczyna rozwijać się łączność telegraficzna, a następnie telefoniczna (telefon). Wynalezienie i szerokie rozpowszechnienie radia stało się możliwe dzięki stworzeniu *teorii elektromagnetycznego pola Maxwella*.

W XIX w. ustalanie nowych praw fizycznych odbywało się, z reguły, w sposób przypadkowy. Odpowiednio pojawienie się powiązanych z tymi prawami nowych wynalazków technicznych odbywało się samoczynnie, i dopiero w XX w. ten proces został w pewien sposób uporządkowany. Szereg projektów (najbardziej znany spośród których – tak zwany „Projekt uranowy” jest to program prac, związanych ze stworzeniem uzbrojenia atomowego) były wykonywane bezpośrednio na zamówienie rządów państw. W ramach każdego projektu przeprowadzono naukowe badania, zgodnie z wynikami których zostały wykonane opracowania inżynierskie (obliczenia, sporządzenia, konstrukcje).

Współczesny etap rozwoju fizyki jest ściśle połączony z przemysłem i biznesem. Do rozwiązania każdego nowego technicznego zadania do pracy zapraszani są nie tylko inżynierowie, technologowie, a i naukowcy. Przykładem takiej współpracy jest miniaturyzacja telefonów komórkowych.

Fizyka również wpływa na rozwój innych nauk. Przede wszystkim jest to powiązane z głębokim rozumieniem struktury materii, które opiera się na teoretycznym opisywaniu mikroświata za pomocą mechaniki kwantowej. Zastosowanie tej teorii do rozwiązywania zadań z chemii i biologii umożliwiło w krótkim czasie osiągnięcie znaczącego postępu w rozwoju tych dziedzin wiedzy.

Prawie wszystkie współczesne mierniki i metody pomiarów stosowane w astronomii, medycynie, archeologii itd. „wyrosły” z odpowiednich praw fizyki.



Rys. 40.6. Doświadczenie, które ilustruje istnienie przewodników i dielektryków (rycina śr. XVIII w.) kobieta siedzi na huśtawce, zawieszony na jedwabnych sznurach. Człowiek, stojący z prawej przybliża do ręki kobiety naelektryzowaną szklaną pałeczkę, a stojący z lewej, dotyka jej drugiej ręki – pojawia się iskra



Podsumowanie

Prawie za 2500 lat istnienia, nauka fizyczna potrafiła rozszerzyć ogólne przedstawienie o naturze, które łączy wiedzę człowieka o megaświecie, makroświecie i mikroświecie. Wysiłki uczonych-fizyków w większości przypadków skierowane były na praktyczne zastosowanie wyników ich badań.

Zaczynając od XIX w., fizycy nie tylko wyjaśniali znane fakty, lecz ustalali nowe prawa, w oparciu o które rozwijały się nowe dziedziny techniki.

Specyfiką współczesności jest „zamówienie na opracowanie”: naukowe badania w większości wypadków są wykonywane w celu rozwiązywania konkretnego praktycznego zadania.

Wyniki otrzymane przez uczonych-fizyków, są wykorzystywane w innych naukach, między innymi w biologii i chemii. Fizyczne przyrządy i metody badań są na szeroką skalę wykorzystywane w nauce, przemyśle i rolnictwie.



Pytania kontrolne

1. Za pomocą jakich przyrządów badamy megaświat? **2.** Jakie metody i przyrządy są wykorzystywane przez fizyków do badania właściwości atomów? **3.** Jakie są współczesne wyobrażenia o naturze światła? **4.** W czym tkwi sens dualizmu korpuskularno-falowego? **5.** Podaj dowody tego, że znajomość prawa Ohma jest niezbędna dla inżynierów.

Fizyka i technika na Ukrainie



Borys Wierkin (1919–1990) – wybitny uczyony w dziedzinie fizyki niskich temperatur, założyciel i pierwszy dyrektor *Fizyko-technicznego Instytutu niskich temperatur AN USSR* (m. Charków) (FTINT).

Prace naukowe B.Wierkina poświęcone są badaniu natury magnetycznych właściwości metali, fundamentalnego i stosowanego nadprzewodnictwa, struktury materiałów w niskich temperaturach, właściwości kriogenicznych kryształów i cieczy, biofizyki cząsteczkowej, zachowania się cieczy w warunkach nieważkości. Wielki jest wniosek uczonego w badania kosmosu. Przy jego udziale stworzono kompleks przyrządów zainstalowanych na aparatach kosmicznych „Wenus–9”, „Wenus–10”, „Salut–4” w celu imitacji fizycznych warunków Księżyca, Marsa i innych planet.

W dziedzinie medycyny kriogenicznej B. Wierkin opracował metodę długotrwałej niskotemperaturowej konserwacji komórek krwi, tkanek i mózgu kostnego, a także kriochirurgiczne instrumenty i aparaty do wykorzystania w dermatologii, ginekologii, stomatologii, neurochirurgii i innych dziedzinach medycyny.

Za wybitne osiągnięcia w nauce Fizyko-technicznemu Instytutowi niskich temperatur nadano imię B. Wierkina. PAN Ukrainy ufundowała nagrodę im. B.Wierkina – za wybitne naukowe prace w dziedzinie fizyki i techniki niskich temperatur.

Badanie kosmosu

Pierwsze kroki w kosmosie

4 października 1957 r. radzieccy uczeni wyprawili na okołoziemską orbitę pierwszego sztucznego satelitę Ziemi, który odkrył kosmiczną erę w historii ludzkości (rys. 1). Po odłączeniu się od rakiety nośnika jej nadajnik radiowy zaczął nadawać pierwszy sztuczny sygnał z kosmosu – ten sygnał usłyszał cały świat.



Rys. 1



Rys. 2

12 kwietnia 1961 r. człowiek po raz pierwszy poleciał w kosmos. Lot został wykonany na statku kosmicznym „Wostok” przez radzieckiego kosmonautę *Jurija Gagarina* (1934–1968) (patrz rys. 2 po lewej). „Wostok” został opracowany przez wybitnego konstruktora *Sergieja Korolowa* (1907 – 1966) (patrz rys. 2 po prawej), urodzonego w Żytomierzu, absolwenta Politechniki Kijowskiej.

21 lipca 1969 r. amerykańscy astronauta *Neil Armstrong* (1930–2012) i *Buzz (Edwin) Aldrin* (ur. 1930) wylądowali na Księżycu (rys. 3). wraz z pierwszym krokiem, zrobionym na powierzchni Księżyca N. Armstrong powiedział: „Jest to mały krok dla człowieka, ale wielki skok dla ludzkości”.



Rys. 3

Misja „Rozetta”

Idea misji polega na tym, aby aparat kosmiczny wylądował na kometcie. Aparat kosmiczny „Rozetta” stworzony przez fachowców Europejskiej agencji kosmicznej, został zapuszczony w 2004 r. i w ciągu dziesięciu lat pokonał setki milionów kilometrów, aby znaleźć się na orbicie komety o rozmiarach mniejszych niż 10 km (!). ponadto z „Rozetty” został spuszczony aparat „Fili”, który sukcesywnie wykonał miękkie lądowanie na powierzchni komety 14 listopada 2014 r. (rys. 4). Warto dodać, że misja „Rozetta” badała kometę Czuriumowa – Gerasymenko, odkrytą w 1969 r. przez ukraińskiego uczonego *K. Czuriumowa*.



Rys. 4

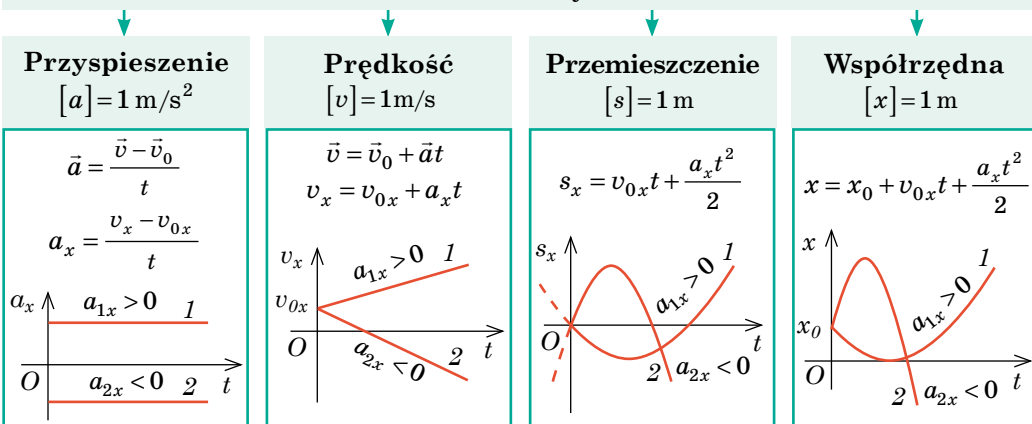
PODSUMOWANIE ROZDZIAŁU V „Ruch i oddziaływanie. Prawa zachowania”

1. Badając rozdział V, przypomniałeś sobie *główne pojęcia mechaniki* (ruch mechaniczny, tor, droga, przemieszczenie, układ odniesienia), dowiedziałeś się o *ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym*, nauczyłeś się obliczać *wielkości fizyczne* charakteryzujące ten ruch.

RUCH PROSTOLINIOWY JEDNOSTAJNIE PRZYSPIESZONY

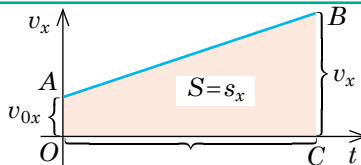
ruch podczas którego ciało porusza się prostoliniowym torem ze stałym co do wartości i kierunku przyspieszeniem

Wielkości fizyczne



Geometryczny sens przemieszczenia:

$$s_x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} \cdot t$$

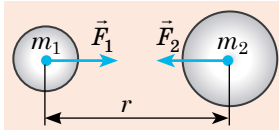
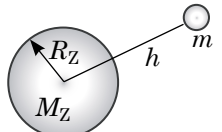


2. Poznałeś najważniejsze zasady dynamiki – *zasady Newtona*, nauczyłeś się rozróżniać *inercjalne i nieinercjalne układy odniesienia*.

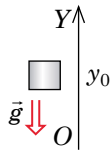
RUCH PROSTOLINIOWY JEDNOSTAJNIE PRZYSPIESZONY

Pierwsza zasada Newtona	Druga zasada Newtona	Trzecia zasada Newtona
Istnieją takie układy odniesienia, nazywane <i>inercjalnymi</i> , względem których ciało spoczywa, jeżeli nie działają na to ciało żadne siły lub działanie tych sił wzajemnie się równoważy.	Przyspieszenie uzyskane przez ciało na skutek działania siły, jest wprost proporcjonalne do niej i odwrotnie proporcjonalne do masy ciała: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$	Ciała oddziałują ze sobą z siłami, skierowanymi wzdłuż jednej prostej, równymi co do wartości bezwzględnej lecz przeciwnie skierowanymi: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

3. Rozszerzyłeś swoją wiedzę o *oddziaływaniu grawitacyjnym*, nauczyłeś się prawa *gravitacji* i otrzymałeś *wzór dla obliczenia siły ciężkości*.

SIŁY GRAWITACYJNE	
<p>Siła gravitacji</p> $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$ 	<p>Siła ciężkości</p> $F = G \frac{m M_Z}{(R_Z + h)^2}$ $F = mg$ 

4. Wyjaśniłeś, że ruch ciała pod działaniem siły ciężkości nazywamy *swobodnym spadaniem*, a przyspieszenie, z którym poruszają się ciała pod działaniem siły ciężkości – *przyspieszeniem ziemskim*.

PRZYSPIESZENIE ZIEMSKIE			
<p>Wzór</p> $g = G \frac{M_Z}{(R_Z + h)^2}$ $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ <p>– w pobliżu powierzchni Ziemi</p>	<p>Kierunek</p> <p>pionowo w dół</p> 	<p>Zależy</p> <ul style="list-style-type: none"> • od wysokości ciała nad powierzchnią Ziemi; • od szerokości miejscowości 	<p>Nie zależy</p> <ul style="list-style-type: none"> • od masy ciała; • od wartości i kierunku prędkości ruchu ciała

5. Przypomniałeś sobie *prawo zachowania energii mechanicznej*, dowiedziałeś się o *prawie zachowania pędu*.

PRAWA ZACHOWANIA W MECHANICE	
<p>Prawo zachowania energii mechanicznej</p> <p>W zamkniętym układzie ciał, które oddziałują siłami sprężystości i ciężkości całkowita energia mechaniczna pozostaje stała:</p> $E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p$	<p>Prawo zachowania pędu</p> <p>W zamkniętym układzie ciał suma wektorowa pędów ciał pozostaje stała po dowolnych oddziaływaniach ciał układu między sobą:</p> $m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$

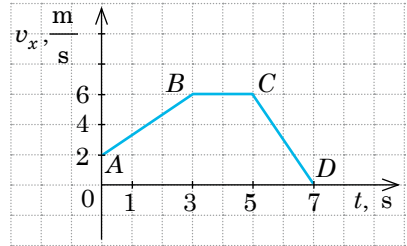
6. Uogólniłeś wiedzę o *fundamentalnych oddziaływaniach w przyrodzie*, dowiedziałeś się o *ważności praw zachowania*.

ODDZIAŁYWANIA FUNDAMENTALNE			
Grawitacyjne	Elektromagnetyczne	Silne	Słabe

ZADANIA DO ROZDZIAŁU V „Ruch i oddziaływanie. Prawa zachowania”

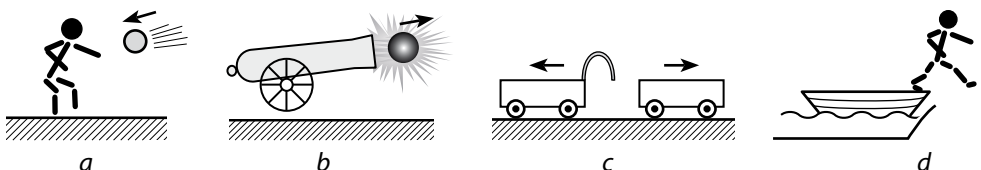
Zadania 1–8 zawierają tylko jedną poprawną odpowiedź.

1. (1 punkt) Ciało porusza się wzdłuż osi OX . Na rys. 1 podano wykres zależności rzutu prędkości ruchu ciała i czasu obserwacji. Który z odcinków wykresu odpowiada jednostajnemu ruchowi ciała?
- odcinek AB ;
 - odcinek BC ;
 - odcinek CD ;
 - odcinek AB i CD .



Rys. 1

2. (1 punkt) Która z wielkości fizycznych jest skalarna?
- przyspieszenie;
 - prędkość ruchu;
 - pęd;
 - energia.
3. (1 punkt) Z jakim ciałem należy związać układ odniesienia, żeby stał się on inercjalnym?
- pociąg zwiększa swoją prędkość;
 - dziewczynka buja się na huśtawce;
 - chłopczyk porusza się wzdłuż jezdni ruchem prostoliniowym ze stałą prędkością;
 - pies spowalnia swój ruch.
4. (1 punkt) Ciało rzucone pionowo do góry porusza się pod działaniem siły ciężkości. Przyspieszenie ruchu ciała:
- jest największe w początkowym momencie ruchu;
 - jednakowe w dowolnym momencie ruchu;
 - najmniejsze w górnym punkcie toru;
 - zwiększa się podczas spadania.
5. (2 punkty) Z jakim przyspieszeniem porusza się ciało, jeżeli w ciągu 2 s prędkość jego ruchu zwiększa się od 3 do 6 m/s?
- 1,5 m/s²;
 - 3 m/s²;
 - 4,5 m/s²;
 - 6 m/s².
6. (2 punkty) Samochód zaczyna poruszać się i w ciągu 5 s porusza się ze stałym przyspieszeniem 4 m/s². Oblicz przemieszczenie samochodu za ten czas.
- 10 m;
 - 20 m;
 - 50 m;
 - 100 m.
7. (2 punkty) Na rys. 2 przedstawiono cztery sytuacje oddziaływania dwóch ciał. W jakim przypadku układ ciał nie jest zamknięty?



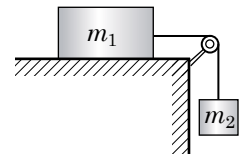
Rys. 2

8. (3 punkty) Ciało o masie 100 g porusza się pod działaniem dwóch wzajemnie prostopadłych sił o wartościach 6 i 8 N. Z jakim przyspieszeniem porusza się ciało?
9. (3 punkty) Według wykresu przedstawionego na rys. 1 wyznacz przemieszczenie ciała za ogólny czas obserwacji. Uważaj, że w wybranym układzie odniesienia ciało poruszało się wzdłuż osi OX .
10. (3 punkty) Ciało zostało rzucone pionowo do góry z prędkością 30 m/s. Przez jaki odcinek czasu ciało znajdzie się na odległości 25 m od punktu rzucania. Jaka będzie prędkość ruchu ciała w ciągu tego odcinka czasu?
11. (3 punkty) W windzie znajduje się walizka o masie 20 kg. Winda zaczyna poruszać się z przyspieszeniem 2 m/s^2 . Ile wynosi ciężar walizki? Rozglądnij dwa przypadki.
12. (4 punkty) Ciało o masie 2,5 kg porusza się wzdłuż osi OX . Równanie ruchu ciała zapisuje się w postaci: $x = 15 + 3t - t^2$. Ustal zależność pomiędzy wielkością fizyczną a jej wartością w SI.

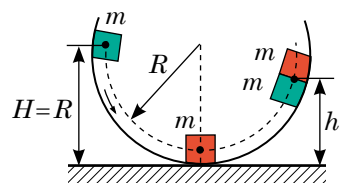
- 1 Siła działająca na ciało.
 2 Pęd ciała na początku obserwacji.
 3 Energia kinetyczna ciała przez 1,5 s od początku obserwacji.
 4 Czas ruchu ciała do momentu zatrzymania się.

- A 0
 B 1,5
 C 4,5
 D 5
 E 7,5

13. (4 punkty) Klocek o masie 500 g pod działaniem zawieszono do niego ciężarka o masie 150 g pokonuje od początku ruchu drogę 18 cm w ciągu 2 s (rys. 3). Oblicz współczynnik tarcia poślizgowego.
14. (4 punkty) Z punktu znajdującego się na wysokości 2,8 m nad powierzchnią ziemi, pionowo do góry rzucają ciało 1 z prędkością 12 m/s. W momencie, gdy ciało 1 znajdzie się w najwyższym punkcie podnoszenia, z powierzchni ziemi rzucają do góry ciało 2 z prędkością 10 m/s. Oblicz czas i wysokość spotkania się ciał.
15. (4 punkty) Wykorzystując dane z rys. 4, oblicz wysokość h , na którą podniosą się dwa ciała o jednakowej masie po zderzeniu się. Wewnętrzną powierzchnię walca uważaj za idealnie gładką.



Rys. 3



Rys. 4

Sprawdź swoje odpowiedzi na pytania z podanymi na końcu podręcznika. Oznacz zadania, na które odpowiedziałeś prawidłowo i wyznacz sumę punktów, następnie podziel tę sumę przez trzy. Otrzymany wynik będzie odpowiadać poziomowi twojej wiedzy.



Dodatkowe zadania testowe, sprawdzane przez komputer odnajdziesz na stronie internetowej „Nauczanie interaktywne”

Proponowane tematy projektów

1. Prawa zachowania w przyrodzie, technice, życiu codziennym.
2. Fizyka w życiu współczesnego człowieka.
3. Współczesne badania fizyczne na Ukrainie i na całym świecie.
4. Ukraina – państwo kosmiczne.
5. Wykorzystanie prawa zachowania pędu w technice.

Tematy referatów

1. Znaczenie zasad Newtona w rozwoju fizyki.
2. Siła ciężkości na planetach Układu Słonecznego i ich satelitach.
3. Czy istnieje siła odśrodkowa.
4. Jak porusza się ciało rzucone pod kątem do poziomu, jeżeli nie możemy nie uwzględniać oporu powietrza.
5. Ruch odrzutowy w przyrodzie.
6. Historia kosmonautyki.
7. Pierwszy ukraiński kosmonauta.
8. Życiorys i działalność naukowa S. Korolowa.
9. Międzynarodowy kosmiczny projekt „Gallileo”.
10. Prawa zachowania we Wszechświecie.
11. Energia próżni fizycznej.
12. Dlaczego masę ciała nazywamy miarą energii.

Tematy badań eksperymentalnych

1. Doświadczalne sprawdzanie drugiej zasady Newtona.
2. Doświadczalne sprawdzanie trzeciej zasady Newtona.
3. Badanie warunków prostoliniowego jednostajnego ruchu ciała pod działaniem kilku sił.
4. Badanie dodawania sił.
5. Badanie zasięgu lotu ciała.
6. Stworzenie i obserwacja ruchu odrzutowego.
7. Badanie uderzeń sprężystych i niesprężystych,
8. Sporządzenie przyrządów, zasadą działania których jest prawo zachowania energii.

FIZYKA A EKOLOGIA. ALTERNATYWNE ŹRÓDŁA ENERGII

Wyobraź sobie, że na tydzień pozostałeś bez wszystkich współczesnych wynalazków cywilizacji. Nie możesz rozmawiać z kolegami przez komórkę i przez Internet, mieszkanie nie jest ogrzewane, nie ma prądu, nie możesz skorzystać ze środków transportu...

Możliwość korzystania z wynalazków, które daje nam fizyka i technika, jest to wielki atut. Jednak są w tym i minusy. Szybki rozwój techniki, która ciągle wymaga energii, zmniejszania się zapasów kopalin użytecznych, powszechne wykorzystywanie sztucznych materiałów, budowa budynków i autostrad z żelazobetonu i in. – wszystko to prowadzi do poważnego pogorszenia się sytuacji ekologicznej. Fizyka a problemy ekologii – to temat naszej ostatniej lekcji w tym roku szkolnym.

1 Dowiadujemy się o różnych rodzajach i typach zanieczyszczenia środowiska naturalnego

Istnieją dwa typy zanieczyszczeń: *naturalne* i *antropogeniczne*.

? Spróbuj podać 2–3 przykłady każdego typu zanieczyszczeń.

W każdym z tych typów rozróżnimy takie rodzaje zanieczyszczeń: *chemiczne*, *biologiczne*, *mechaniczne* (rys. 1,2), *fizyczne*. Wiadomo, że negatywny wpływ substancji, które zanieczyszczają środowisko, a także promieniowania zależą od ich stężenia, trwałości (czasu ich istnienia), chemicznej i radioaktywnej aktywności.

Zatrzymamy się na *antropogenicznym fizycznym zanieczyszczeniu środowiska naturalnego*, czyli na *ciepłym*, *radioaktywnym*, *elektromagnetycznym* i *dźwiękowym zanieczyszczeniach*. Zaznaczymy, że na każde z tych zanieczyszczeń zwracaliśmy uwagę, gdy poznawaliśmy kolejne tematy.

2 Przypominamy o zanieczyszczeniu ciepłym

Ciepłe zanieczyszczenie jest związane z efektem cieplarnianym. Duże ilości węgla, ropy naftowej i gazu są spalane w celu zabezpieczenia pracy przemysłu, transportu, otrzymywania energii elektrycznej i ogrzewania pomieszczeń. Przy tym do atmosfery jest wyrzucany dwutlenek węgla (CO_2), który staje się jakby zwierciadłem odbijającym promieniowanie ciepłe, idące od Ziemi. W wyniku tego część energii zatrzymuje się w atmosferze i zwiększa jej temperaturę. Przez efekt cieplarniany średnia temperatura powierzchni Ziemi wzrosła o $0,7^\circ \text{C}$. Takie ogrzewanie spowodowało



Rys. 1. Śmieci, które trafiają do oceanu, powodują zanieczyszczenie naturalnego planktonu, który produkuje około 50 % tlenu, znajdującego się w atmosferze Ziemi



Rys. 2. Smog (dym, kurz, mgła), który powstaje w dużych miastach, prowadzi do zatrucia człowieka od wewnątrz, zwiększa ilość opadów, przeszkadza przenikaniu promieni słonecznych



Rys. 3. Według danych satelitarnych radarów każde 10 lat wysokość lodowców na morzach Bellingshausena i Amundsena (Antarktyda) zmniejsza się średnio o 740–1920 cm



Rys. 4. Niebiesko-zielone wodorosty, kwitnące w ciepłej wodzie aktywnie pochłaniają tlen



Rys. 5. Mierzenie poziomu hałasu tłumika samochodu

poważne zmiany klimatu, którym towarzyszą potężne opady i susze. Z takim podwyższeniem temperatury jest związane topnienie lodowców w Arktyce i Antarktydzie (rys. 3), podwyższenie poziomu Oceanu Światowego itp.

Źródłami ciepłego zanieczyszczenia również są podziemne gazociągi i elektrownie ciepłownicze, które zlewają gorącą wodę do zbiorników wodnych. Ogrzewanie zbiorników wodnych z kolei doprowadza do zmniejszenia w nich rozciężonego tlenu (ponieważ ze zwiększeniem temperatury rozpuszczalność gazów zmniejsza się), co powoduje kwitnienie niebiesko-zielonych wodorostów (rys. 4), które, między innymi, też pochłaniają tlen.

? Na pytanie „Do czego doprowadza brak tlenu w zbiorniku wodnym?” spróbuj odpowiedzieć samodzielnie.

3 **Walcymy z hałasem**

Dźwięk o natężeniu 20–30 decybeli (dB) prawie nie szkodzi człowiekowi. Lecz dźwięk o większym natężeniu powoduje pogorszenie słuchu, zwiększa ciśnienie tętnicze, negatywnie wpływa na układ krążenia, może spowodować nerwowe i psychiczne choroby.

Najbardziej potężnym i rozpowszechnionym źródłem hałasu jest transport, który stanowi 60–80 % wszystkich dźwięków w miejscach przebywania człowieka. Poziom dźwięku, wytworzonego przez transport samochodowy może wynosić 75–85 dB, przez kolejowy i lotniczy – powyżej 100 dB.

Uwzględniając to, że dla człowieka nie jest szkodliwy dźwięk tylko 20–30 dB, można sobie wyobrazić, jakiego negatywnego wpływu zaznają ludzie, mieszkający w pobliżu, na przykład dużych autostrad, kolei i lotnisk.

Dlatego walka z hałasem transportu (patrz rys. 5, 6) ma ważne znaczenie i odbywa się w kilku kierunkach: tworzenie mało hałaśliwych środków transportu, ulepszenie nawierzchni jezdni, przemyślane rozmieszczenie i urządzenie autostrad (obwodnice, objazdy, roślinność, dźwiękochłonne ekrany), pewne organizacyjne działania (zakaz lotów samolotów nad dużymi miastami, konieczna obecność tłumików, zakaz sygnałów dźwiękowych itp.).

? Jakie inne źródła hałasu, oprócz transportu, są ci znane? Jak należy się chronić przed hałasem?

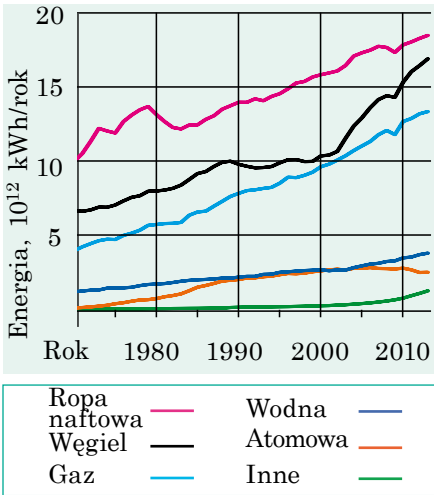
4 Przypominamy o radioaktywnym i elektromagnetycznym zanieczyszczeniu

W rozdziale III dowiedziałeś się o *elektromagnetycznym zanieczyszczeniu*, w rozdziale IV – o *radioaktywnym*. Przypomnijmy główne źródła tych zanieczyszczeń, skutki negatywnego wpływu radioaktywnego i elektromagnetycznego promieniowania na człowieka, dowiemy się jak zapobiec tym skutkom.



Rys. 6. Dźwiękochłonne ekra-ny, ustawiane obok autostrad, kilkukrotnie zmniejszają poziom hałasu

	Radioaktywne zanieczyszczenie	Elektromagnetyczne zanieczyszczenie
Źródła zanieczyszczeń	Awarie na elektrowniach atomowych. Rentgenowskie i γ -badania. Leczenie γ -promieniowaniem (chemioterapia). Promieniowanie, wysyłane przez Ziemię (tłuczeń, keramzyt, granit; radon, który wydostaje się z wnętrza Ziemi i gromadzi się w piwnicach).	Linie zasilania o wysokim napięciu. Tele- i radiostacje. Telefony komórkowe. Mikrofalówki. Elektrownie. Stacje transformatorowe. Komputery.
Negatywny wpływ	Niszczy komórki organizmu. Wpływa na dziedziczność Rujnuje DNA, co doprowadza do powstania nowotworów. Powoduje chorobę popromienną.	Zwiększa zmęczenie. Powoduje zaburzenia nerwowe. Zwiększa prawdopodobieństwo bezpłodności. Może doprowadzić do nowotworu mózgu. Obniża odporność.
Sposoby zwalczania	Robić badania rentgenowskie nie częściej niż raz do roku. Nie przebywać w strefie zanieczyszczenia radioaktywnego. Często wietrzyć pomieszczenia. Mniej czasu przebywać w zamkniętych pomieszczeniach i w pobliżu jezdni z granitu.	Zmniejszać czas wykorzystania sieci bezprzewodowych. Stosować przeważnie łączność przewodową. Nie trzymać telefonu komórkowego w pobliżu głowy (stosować słuchawki). Nie nosić telefonu komórkowego w kieszeni.



Rys. 7. Zużywanie energii na całym świecie



Rys. 8. Elektrownia atomowa „Paluel” – największa elektrownia atomowa we Francji



Rys. 9. Półprzewodnikowe baterie słoneczne, stosowane na terenach prywatnych

5 Dowiadujemy się o alternatywnych źródłach energii

W ciągu wielu stuleci paliwo węglowodorowe (drewno, węgiel, torf, gaz, ropa naftowa) było niemal jedynym źródłem energii dla ludzkości. Przy czym prawie nie zanieczyszczało środowiska naturalnego. W ciągu ostatniego stulecia gwałtownie zwiększyło się wykorzystanie maszyn cieplnych, które przemieniają energię paliwa w energię elektryczną i mechaniczną. Doprowadziło to po pierwsze, do wycieńczenia zasobów naturalnych, po drugie, do poważnej zmiany klimatu Ziemi. Na obecnym etapie rozwoju ludzkość nie może obniżyć ilości zużywanej energii. Wręcz odwrotnie, ilość ta niezmiernie wzrasta i, tak jak wcześniej, większa część energii produkuje się na skutek spalania szybko znikających węglowodorowych rodzajów paliwa (rys. 7).

Współczesny rozwój techniki pozwala na wykorzystanie **alternatywne źródła energii**: *energię jądrową, energie wiatru i słońca, energie przyływów i odpływów wód oceanicznych, geotermalną energię Ziemi*. Podamy kilka przykładów.

Energetyka atomowa Francji ma największy poziom wykorzystania energii atomowej w Europie: 78 % energii elektrycznej, produkowanej w państwie, otrzymuje się w elektrowniach atomowych (rys. 8).

W wielu państwach świata zaczyna rozwijać się *energetyka słoneczna*. Na energii Słońca pracują i duże elektrownie, i niewielkie płyty słoneczne, obsługujące budynki prywatne. W technice są wykorzystywane dwa sposoby przemiany energii słonecznej na elektryczną: bezpośrednia przemiana za pomocą urządzeń półprzewodnikowych (rys. 9) i przemiana energii słonecznej najpierw w ciepłą, a następnie w elektryczną (rys. 10).

Jeszcze jednym odnawialnym źródłem energii jest wiatr. *Energetyka wiatrowa* rozwija się bardzo szybko: chociaż obecnie generatory wiatrowe produkują tylko 1 % energii elektrycznej na świecie,

jednak są państwa, w których odsetek energii wiatrznej jest dość wysoki. W Danii 42 % energii elektrycznej pozyskuje się wykorzystując *energię wiatru* (rys. 11).

Energia przyływów i odpływów jest potężnym źródłem energii. Pierwszą elektrownię o mocy 240 MW, wykorzystującą przyływy, zbudowano we Francji jeszcze w 1966 roku. Elektrownia ta pracuje do dzisiaj. Obecnie takie elektrownie są prawie we wszystkich zakątkach naszej planety.

Państwa, znajdujące się w miejscach sejsmicznej aktywności, mogą korzystać z *energii geotermalnej* (energii gorącej wody, suchej i wilgotnej pary podnoszącej się z wnętrza Ziemi, blisko powierzchni). Energia geotermalna jest aktywnie wykorzystywana, na przykład w Islandii (rys. 12), na Filipinach (27 % produkcji energii elektrycznej w państwie), w Meksyku, USA.



Rys. 10. Jedna z największych na świecie elektrowni słonecznych – „Ivanpah” (czyt. Ajwanpah) (USA, Kalifornia). 173 tys. zwierciadeł odbija światło słoneczne i skierowuje je na wierzchołki trzech wież, na których znajdują się kotły z wodą. Gorąca para trafia na tarcze turbin, znajdujących się wewnątrz wież



Rys. 11. Generatory wiatrowe ustawione wzdłuż wybrzeża Danii, całkowicie zabezpieczają północ państwa w energię i umożliwiają sprzedaż energii innym państwom



Rys. 12. Całkowite zabezpieczenie w energię ciepłą stolicy Islandii Reykjavik odbywa się od elektrowni geotermalnej, znajdującej się w 7 km od miasta



Podsumowanie

Szybki rozwój techniki, powszechne wykorzystanie sztucznych materiałów, spalanie dużej ilości węglowodorowego paliwa prowadzi do tego, że ekologiczna sytuacja na naszej planecie wciąż pogarsza się. Najwięcej zanieczyszcza środowisko naturalne człowiek (antropogeniczne zanieczyszczenie). Działalność człowieka doprowadza do powstania wysp śmiecia na oceanie (mechaniczne zanieczyszczenie), dodatkowego wyrzucania ciepła do atmosfery i zbiorników wodnych (zanieczyszczenie cieplne), poważnego wzrostu radioaktywnego tła (radioaktywne zanieczyszczenie). Na zdrowie człowieka również wpływa zwiększenie się poziomu hałasu (zanieczyszczenia przez hałas) i stężenia promieniowania elektromagnetycznego (elektromagnetyczne zanieczyszczenie).

Zwiększenie stężenia dwutlenku węgla w atmosferze Ziemi doprowadziło do tego, że średnia temperatura planety wzrosła o 0,7°C. Aby zmniejszyć ilość wyrzutów i chociażby częściowo zachować zapasy kopalin użytecznych, rządy państw wspierają wykorzystanie alternatywnych źródeł energii, a dokładniej energię słońca i wiatru, przyływów i odpływów, jądrowej i geotermalnej energii.

PRZEDROSTKI DO TWORZENIA NAZW WIELOKROTNOŚCIOWYCH I CZĘŚCI JEDNOSTEK

Przedrostek	Oznaczenie	Czynnik	Przedrostek	Oznaczenie	Czynnik
tera-	T	10^{12}	centy-	c	10^{-2}
giga-	G	10^9	mili-	m	10^{-3}
mega-	M	10^6	mikro-	μ	10^{-6}
kilo-	k	10^3	nano-	n	10^{-9}
hekto-	h	10^2	piko-	p	10^{-12}
decy-	d	10^{-1}	femto-	f	10^{-15}

ODPOWIEDZI DO ĆWICZEŃ I ZADAŃ

Rozdział I „Pole magnetyczne”

Nr. 1. 1. Z lewej – południowy, z prawej – północny. **2.** Dwa bieguny. **4.** *Wskazówka:* przewodniki z prądem o jednakowym kierunku przyciągają się.

Nr. 2. 1. Do rys. *a*: 1) jednorodne, 2) *A* i *B* – do góry, 3) jednakowe w punktach *A* i *B*; do rys. *b*: 1) jednorodne, 2) *A* i *B* – do nas, 3) jednakowe w punktach *A* i *B*; do rys. *c*: 1) niejednorodne; 2) *A* – w lewo do góry, *B* – z lewa na prawo. **3.** 1) Tak; 2) *B* – w lewo do góry, *C* – w lewo w dół; 3) w p. *C*; 4) od *S* do *N*.

Nr. 3. 1. Od *B* do *A*. **2.** 1) przeciwko wskazówce zegara; 2) od nas; 3) *a* – jednakowe, *b* – w punkcie *A*. **3.** Południowym; tak. **4.** Opuszcza się. **5.** Z lewej „+”, z prawej „-”.

Nr. 4. 1. a) do góry; b) z lewa na prawo; c) z lewa na prawo; d) $F_A = 0$. **2.** 1,08 N; 0. **3.** a) na dole – północny; b) z lewa – dodatni. **4.** a) 1,2 m; b) 30 mN. **6.** a) z lewa na prawo, b) 0,25.

Nr. 5. 1. Magnetyczna. **2.** a) właściwości paramagnetyków; b) właściwości ferromagnetyków. **3.** Nieznacznie zmniejszyło się. **5.** Umieścić w silnym polu magnetycznym.

Nr. 6. 1. Pozostaje namagnesowany po wyłączeniu prądu; będzie zużywać się dodatkowa energia na przemagnesowanie. **2.** Z lewej – biegun północny. **3.** Do *B* i *C*. **4.** Zwiększy się.

Nr. 7. 1. Zgodnie ze wskazówką zegara. **2.** Opór woltomierza jest duży. **3.** Przynajmniej przestanie pracować.

Nr. 8. 1. Jeżeli prąd w zewnętrznej zwojnicy zmieni się. **2.** 1) a) odpycha się od magnesu; b) przyciąga się; c) odpycha się; 2) Prąd jest skierowany ku przedniej ściance: a) w dół; b) do góry; c) do góry. Kierunek indukcji magnetycznej a) z lewa na prawo; b) z prawa na lewo; c) z prawa na lewo; 3) Pierścień pozostanie nieruchomy. **3.** Po przedniej ściance zwojnicy: 1) w dół; 2) do góry, 3) w dół, 4) do góry.

Zadania do sprawdzianu rozdziału I

1. a. **2.** c. **3.** 1–C, 2–B, 3–A, 4–D. **4.** a, c. **5.** c. **6.** b. **7.** a. **8.** Aby wyłączyć przedmioty metalowe. **9.** Z prawa „+”. **10.** Z prawa „+”. **11.** Z góry – północny. **12.** Żelazny – tak; miedziany – nie. **13.** W dole – północny; słabnie. **14.** Po przedniej ściance zwojnicy w dół. **15.** 0,7 N.

Rozdział II „Zjawiska świetlne”

Nr. 9. 1. 1–D, 2–C, 3–B. 2. a) Księżyc; b) monitor komputera; c) radiolaria. 3. 8 min. 20 s. 4. b, c. 5. $9,46 \cdot 10^{12}$ km.

Nr. 10. 3. 1–D, 2–C, 3–B. 4. 67 cm. 9. $c=10$ cm, $b=8,7$ cm.

Nr. 11. 1. 3 m. 4. 40° . 5. 60 cm; 80 cm. 6. 8 km/h; o 4 m. 7. 18° .

Nr. 12. 2. $1,24 \cdot 10^8$ m/s; $2,26 \cdot 10^8$ m/s; $3 \cdot 10^8$ m/s. 3. 40° . 5. 4 μ s. 7. 1) Ośrodką 2; 2) 1,5; 3) $1,7 \cdot 10^8$ m/s; 4) 1,2; 2.

Nr. 13. 1. Czarnym; zielonym. 2. Niebieskiego; wszystkie, oprócz niebieskiego. 3. Fioletowego. 4. Czerwonego.

Nr. 14. 1. Pierwsza soczewka rozpraszająca, druga – skupiająca. 2. Pierwsza. 3. 62,5 cm, rozpraszająca. 6. Skupiać. 7. $S_1A_1=1,2$ cm; $OF=3,75$ cm.

Nr. 15. 2. 40 cm. 3. –3 dptr, rozpraszająca. 5. 1) 5 dptr; 2) 10 cm. 7. 25 dptr.

Nr. 16. 1. 40 cm, bliskowzroczność. 2. 12,5 cm. 5. –1 dptr.

Zadania do sprawdzianu rozdział II

1. a. 2. b. 3. d. 4. b. 5. c. 6. c. 7. a. 8. c. 9. 4 m/s. 10. 20° . 11. 1,4. 12. 1 m. 13. 1–A, 2–C, 3–D. 14. Skupiająca, 50 cm, +2 dptr. 15. Bezwzględne współczynniki ciała szklistego człowieka i ryby są prawie jednakowe, jednak do oka ryby światło trafia z wody, dlatego załamuje się mniej. 16. 5 cm.

Rozdział III „Fale mechaniczne i elektromagnetyczne”

Nr. 17. 1. a) 2,5 cm; b) 4 cm. 2. 20 m/s. 3. Nie. 4. Nie powstają siły sprężystości. 5. 45 km. 6. a) w lewo; b) w prawo. 7. Do rys. a: 1) 40 cm, 0,067 s, 1,6 m; 2) A i C – do góry, C – nie porusza się; 3) 450. Do rys. b: 1) 20 cm, 0,05 s, 2 m; 2) A – do góry, B – w dół, C – nie porusza się; 3) 600. 8. 3,2 m/s.

Nr. 18. 1. Tak. 2. Częstotliwość machnięć skrzydeł motyla jest mniejsza o 20 s^{-1} . 3. 8,5 cm; 37,5 cm; 1,25 m. 5. 3 km. 6. 1700. 7. O 2,6 s. 10. 72 μ s.

Nr. 19. 1. 1) b; 2) a, b. 2. Przewód: $\lambda=6000$ km, $v=3 \cdot 10^8$ m/s; nadajnik radiowy: $v=3 \cdot 10^9$ Hz; $v=3 \cdot 10^8$ m/s; promiennik: $v=2 \cdot 10^{14}$ Hz; $v=3 \cdot 10^8$ m/s. 3. a) 750 nm, 400 nm; b) 457 nm, 240 nm. 5. $0,5 \text{ s}^{-1}$, 2 s.

Nr. 20. 1. 4), 2), 1), 3). 2. 1–E, 2–C, 3–D, 4–A. 3. $5,3 \cdot 10^{14}$ Hz. 4. 100 μ m; podczerwone. 6. 0,4 s.

Nr. 21. 1. 3 km. 2. 0,5 m.

Zadania do sprawdzianu rozdziału III

1. b. 2. d. 3. a. 4. b. 5. d. 6. c. 7. a. 8. b. 9. 300 m. 10. 1–C, 2–B, 3–D. 11. Do góry. 12. O 2 s. 13. Ton dźwięku staje się wyższy. 14. 4 m; 17,6 m. 15. 2,4 s; 0,42 Hz; 48 m. 16. 4 m; 50 MHz.

Rozdział IV „Fizyka atomu i jądra atomowego. Podstawy fizyczne energetyki atomowej”

Nr. 22. 1. $Z=18$, $N=22$. 2. Ilością neutronów. 3. 5; 11. 4. Sb. 5. $2 \cdot 10^4$ N.

Nr. 23. 1. a) β - i γ -promieniowanie; b) γ -promieniowanie. 2. $12 \cdot 10^{18}$ Hz. 4. Na jądro ${}_{89}^{228}\text{Ac}$. 5. $6,8 \cdot 10^{-27}$ kg; $7,7 \cdot 10^{-13}$ J. 7. $12,04 \cdot 10^{23}$.

Nr. 24. 1. Uran-235; Radon-220. 2. $\approx 7,2 \cdot 10^{17}$. 3. O 8 razy. 4. 0,6 s. 5. $3,7 \cdot 10^{20}$ Bq.

Nr. 25. 2. $7,2 \cdot 10$ μ Gy. 3. 16,6 Sv. 4. 90 μ Sv.

Nr. 26. 1. 234 MJ; 2,34 kg. 2. 82 GJ. 3. $\approx 17\%$.

Nr. 27. 1. 32%. 2. $69 \cdot 10^6$ kWh. 3. 432 TJ. 4. ≈ 16 kg.

Zadania do sprawdzianu rozdziału IV

1. b. 2. b. 3. d. 4. a. 5. b. 6. b. 7. d. 8. b. 9. 1–E, 2–D, 3–C, 4–B. 10. c. 11. ${}_{84}^{214}\text{Po}$. 12. $2 \cdot 10^9$. 13. 1644. 14. 10,4 mGy (bezpiecznie). 15. ${}_{88}^{225}\text{Ra}$. 16. 8,4 kg.

Rozdział V „Ruch i oddziaływanie wzajemne. Prawa zachowania”

Nr. 28. 1. Tak. 2. $1,5 \text{ m/s}^2$. 3. 1 m/s ; 0 ; -1 m/s . 4. 0. 5. 20 s. 6. a) 2 m/s , 1 m/s^2 , nie; b) -20 m/s , 5 m/s^2 , 4 s; c) 10 m/s , -3 m/s^2 , $\approx 3,3 \text{ s}$. 7. 1) $v_x = -4 + 2t$; 2) $v_x = 8 - 4t$. 8. 1) $v_x = 2 + 1,5t$; 2) $v_x = -3 + t$; 3) $v_x = 1$; $v_x = 5 - 2t$. 9. Za 4 s przed początkiem obserwacji. 10. 30 m.

Nr. 29. 1. 35 m. 2. 100 m. 3. $1,8 \text{ s}$; $\approx 4,4 \text{ m/s}^2$. 4. 1) b) $x_{01} = 8 \text{ m}$, $x_{02} = -2 \text{ m}$; b) $v_{01x} = -2 \text{ m/s}$, $v_{02x} = -5 \text{ m/s}$; 2) $a_{1x} = 2 \text{ m/s}^2$, $a_{2x} = 4 \text{ m/s}^2$; 2) 5 s, 23 m; 3) $v_{1x} = -2 + 2t$, $v_{2x} = -5 + 4t$; $s_{1x} = -2t + t^2$, $s_{2x} = -5t + 2t^2$. 5. $l = 40 \text{ m}$, $s = 0$; $x = -20 + 20t - 5t^2$. 6. 40 s. 7. Tak, jeżeli poruszają się ruchomymi schodami w dół z prędkością $2,5 \text{ m/s}$; tak.

Nr. 30. 1. Na krzeselko $-\vec{F}_{\text{cięż}}, \vec{P}, \vec{N}$, na człowieka $-\vec{F}_{\text{cięż}}, \vec{N}$; działania zrównoważone. 2. Wody, wioseł, Ziemi. 3. Tak; tak; nie. 4. 2) 0; 18 m/s ; 3) 2 m/s^2 , 2 m/s^2 . 6. a) 2 N; b) 0.

Nr. 31. 1. $2,5 \text{ kN}$. 2. W kierunku ruchu; przeciwko ruchowi. 3. 5 m/s^2 , na wschód. 4. $2,5 \text{ t}$. 5. 3 m/s^2 . 7. Obydwa; dziewczynka.

Nr. 32. 1. 10 N. 2. Jednakowo. 3. $0,5 \text{ m/s}^2$. 4. Nie, $F_{\text{nap}} = 200 \text{ N}$; tak, $F_{\text{nap}} = 400 \text{ N}$.

Nr. 33. 1. $4,7 \text{ kg}$; 47 N. 2. Nie. 3. Zwiększa się o 2 razy. 4. $6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$. 5. $0,625 \text{ m/s}^2$. 6. $4,9 \text{ m/s}^2$. 7. 5 m/s , 10 m/s^2 ; $0,5 \text{ s}$.

Nr. 34. 1. Przyspieszenia jednakowe. 2. Wszystkie ciała poruszają się z jednakowym przyspieszeniem \vec{g} ; a) tor ruchu – gałąź paraboli; b) ciało porusza się pionowo do góry, następnie zmienia kierunek ruchu na przeciwny; c) ciało porusza się pionowo w dół. 3. a) 10 m/s , 15 m; b) 2 s, 20 m. 4. 3 s, 60 m, 75 m. 5. $0,4 \text{ s}$. 6. 10 m/s^2 ; 7. 35 m. 8. Ciało 1 – 120 m; ciało 2 – 25 m. 9. 1 – A, 2 – E, 3 – C, 4 – B.

Nr. 35. 1. $3,5 \text{ kN}$. 2. $0,5$. 3. 48 N/m . 4. 110 N, jeżeli przyspieszenie jest skierowane do góry, 70 N – jeżeli w dół. 5. 15 N, 0,025. 6. $0,9 \text{ m/s}^2$. 7. $\approx 0,06$.

Nr. 36. 1. $18 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$; 0; $40,5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$. 2. 25 m/s . 4. 4 m/s ; 1 m/s ; $1,75 \text{ m/s}$. 5. $1,4 \text{ m}$.

Nr. 37. 1. Tak. 2. 1 kN . 3. $2,7 \text{ km/s}$.

Nr. 38. 1. 1) 168 kJ; 2) 8 kJ; 3) 160 kJ. 2. 12 m/s . 3. 1) 2 m/s ; 2) $0,5 \text{ m/s}$; 3) $1,25 \text{ cm}$. 4. $12,8 \text{ cm}$.

Nr. 39. 1. W żarówce 5 % energii elektrycznej przemienia się na energię światła, 95 % – na energię wewnętrzną. 4. 15 %. 5. Pochłania się ta sama ilość energii.

Zadania do sprawdzianu rozdziału V

1. b. 2. d. 3. c. 4. b. 5. a. 6. c. 7. a. 8. 100 m/s^2 . 9. 30 m. 10. $t_1 = 2 \text{ s}$, $t_2 = 1 \text{ s}$; 20 m/s . 11. 240 N, 160 N. 12. 1 – D, 2 – E, 3 – A, 4 – B. 13. $\approx 0,25$. 14. 1 s; 5 m. 15. $h = R/4$.

SKOROWIDZ

- | | |
|--|-----------------------------|
| A Adaptacja oka 100 | – Oersteda 7 |
| Akomodacja 101 | – Rutherforda 146 |
| Aktywność radionuklida 158 | Dozometr 166 |
| B Bekerel 158 | Dyspersja 86 |
| Biegun magnetyczny 6 | E Echo 121 |
| C Cień 62 | Echolokacja 122 |
| Curie 158 | Elektrodynamiczny głośnik 7 |
| D Dawka promieniowania jonizującego | Elektromagnes 29 |
| – dopuszczalna 164 | Energia 235 |
| – pochłonięta 163 | – mechaniczna 235 |
| Diamagnetyka 24 | F Fala |
| Długość fali 115 | – dźwiękowa 118 |
| Doświadczenie (a) | – elektromagnetyczna 127 |
| – Ampe’a 7 | – mechaniczna 112 |
| – Faradaya 39 | – podłużna 113 |

- poprzeczna 113
- Fale radiowe 132
- Ferromagnetyki 25
- G** Generator elektromechaniczny 42
- Głośność dźwięku 120
- Gray 163
- H** Hipoteza Ampere’a 26
- I** Indukcja elektromagnetyczna 41
- Indukcja magnetyczna 10, 20
- Inercjalny układ odniesienia 200
- Infradźwięk 121
- Izotopy 140
- J** Jądrowa reakcja łańcuchowa 169
- Jądrowe siły 149
- Jądrowy cykl 174
- Jądrowy reaktor 170
- K** Kolektor 35
- L** Liczba atomowa (ładunek, ilość protonów) 148
- Linie indukcji magnetycznej 11
- M** Magnes trwały 6
- Masa atomowa (ilość nukleonów) 148
- N** Nuklid 149
- O** Obrazy
 - w soczewce 94, 95
 - w zwierciadle płaskim 69
 Oddziaływanie
 - elektromagnetyczne 245
 - grawitacyjne 209, 245
 - silne 149, 245
 - słabe 245
 Odległość ogniskowa 91
- Oko 100
- Optyczna gęstość ośrodka 76
- P** Paramagnetyki 25
- Pęd ciała 227
- Pole
 - elektromagnetyczne 126
 - grawitacyjne 209
 - jednorodne 12
 - magnetyczne 8
 - Ziemi 12
 Półokres rozpadu 157
- Prawo
 - bezwładności 199
 - grawitacji 210
 - odbicia światła 68
 - prostoliniowego rozchodzenia się światła 62
 - zachowania energii 247
- zachowania energii mechanicznej 236
- zachowania pędu 228
- załamania światła 76
- Prąd indukcyjny 41
- Prędkość chwilowa 189
- Promieniowanie
 - alfa (α) 153
 - beta (β) 153
 - gamma (γ) 133, 153
 - nadfioletowe 133
 - podczerwone 132
 - rentgenowskie 133
- Przemieszczenie 187, 192
- Przyspieszenie 187
 - ziemskie 213
- R** Radioaktywność 152, 154
- Radiolokacja 136
- Reguła
 - korkociągu 16
 - lewej dłoni 20
- Ruch
 - jednostajnie przyspieszony 188
 - mechaniczny 186
 - odrzutowy 231
 - prostoliniowy 215, 256
- S** Silnik elektryczny 35
- Siła
 - Ampere’a 19
 - ciężkości 211
- Siwert 164
- Skala fal elektromagnetycznych 131
- Soczewka 89
 - rozpraszająca 90, 95
 - skupiająca 90, 94
- Swobodne spadanie 212
- Synteza termojądrowa 171
- T** Telefonnia komórkowa 135
- Temperatura Curie 6, 26
- Tesla 10, 20
- U** Ultradźwięk 121
- W** Współczynnik załamania 77
- Wszelchświat 243
- Wzór cienkiej soczewki 96
- Wzór fali 115
- Z** Zasady Newtona
 - druga 203
 - pierwsza 201
 - trzecia 206
- Zdolność skupiająca soczewki 91
- Zjawisko bezwładności 199
- Źródło światła 56
 - punktowe 58

SPIS TREŚCI

Drodzy przyjaciele!	3
---------------------------	---

Rozdział I. Pole magnetyczne

§ 1. Zjawiska magnetyczne. Doświadczenie Oersteda. Pole magnetyczne	6
§ 2. Indukcja pola magnetycznego. Linie indukcji magnetycznej. Magnetyczne pole Ziemi	10
§ 3. Pole magnetyczne prądu. Reguła korkociągu	15
§ 4. Siła Ampere'a	19
§ 5. Magnetyczne właściwości substancji. Hipoteza Ampere'a	24
§ 6. Elektromagnesy oraz ich stosowanie	28
<i>Praca laboratoryjna nr 1</i>	32
§ 7. Silniki elektryczne. Mierniki elektryczne. Głosnik	34
§ 8. Doświadczenia Faradaya. Zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Indukcyjny prąd elektryczny	39
<i>Praca laboratoryjna nr 2</i>	45
Podsumowanie rozdziału I	48
Zadania do rozdziału I	50
Kartka z encyklopedii	52
Proponowane tematy projektów. Tematy referatów. Tematy badań eksperymentalnych	54

Rozdział II. Zjawiska świetlne

§ 9. Zjawiska świetlne. Źródła i odbiorniki światła. Prędkość rozchodzenia się światła. . .	56
§ 10. Promień świetlny i wiązka światła. Prawo prostoliniowego rozchodzenia się światła. Zaćmienie Słońca i Księżycy	61
§ 11. Odbicie światła. Prawa odbicia światła. Zwierciadło płaskie. <i>Praca laboratoryjna nr 3</i>	67
§ 12. Załamanie światła na granicy między dwoma ośrodkami. Prawa załamania światła. . . <i>Praca laboratoryjna nr 4</i>	75
§ 13. Dyspersja światła. Widmo światła białego. Barwy	85
§ 14. Soczewki. Zdolność skupiająca soczewki	89
§ 15. Konstrukcja obrazu w soczewkach. Przyrządy optyczne. Równanie cienkiej soczewki. . <i>Praca laboratoryjna nr 5</i>	93
§ 16. Oko jako układ optyczny. Wzrok i widzenie. Okulary. Wady wzroku i ich korekcja. .	100
Podsumowanie rozdziału II	104
Zadania do rozdziału II	106
Kartka z encyklopedii	108
Proponowane tematy projektów. Tematy referatów. Tematy badań eksperymentalnych	110

Rozdział III. Fale mechaniczne i elektromagnetyczne

§ 17. Powstanie i rozchodzenie się fal mechanicznych. Wielkości fizyczne charakteryzujące fale	112
§ 18. Fale dźwiękowe. Infradźwięki i ultradźwięki	118
<i>Praca laboratoryjna nr 6</i>	124
§ 19. Pole elektromagnetyczne. Fale elektromagnetyczne	126
§ 20. Skala fal elektromagnetycznych	130

§ 21. Fizyczne podstawy współczesnej łączności bezprzewodowej. Radiolokacja	135
Kartka z encyklopedii	139
Podsumowanie rozdziału III	140
Zadania do rozdziału III	142
Proponowane tematy projektów. Tematy referatów. Tematy badań eksperymentalnych	144

Rozdział IV. Fizyka atomu i jądra atomowego. Podstawy fizyczne energetyki atomowej

§ 22. Współczesny model atomu. Protonowo-neutronowy model jądra atomu. Siły jądrowe. Izotopy	146
§ 23. Radioaktywność. Promieniowanie radioaktywne.	151
§ 24. Aktywność substancji radioaktywnej. Zastosowanie radioaktywnych izotopów.	157
§ 25. Jonizujące działania radioaktywnego promieniowania. Naturalne tło radioaktywne. Dozymetry.	163
§ 26. Jądrowa reakcja łańcuchowa. Reaktor jądrowy	168
§ 27. Energetyka atomowa Ukrainy. Problemy ekologiczne energetyki atomowej	174
Podsumowanie rozdziału IV	178
Zadania do rozdziału IV	180
Kartka z encyklopedii	182
Proponowane tematy projektów. Tematy referatów.	184

Rozdział V. Ruch i oddziaływanie wzajemne. Prawa zachowania

§ 28. Ruch jednostajnie przyspieszony prostoliniowy. Przyspieszenie. Prędkość w ruchu jednostajnie przyspieszonym prostoliniowym	186
§ 29. Przemieszczenie w ruchu jednostajnie przyspieszonym. Równanie współrzędnej	192
§ 30. Inercjalne układy odniesienia. Pierwsza zasada Newtona.	199
§ 31. Druga zasada Newtona.	203
§ 32. Trzecia zasada Newtona	206
§ 33. Prawo grawitacji. Siła ciężkości. Przyspieszenie swobodnego spadania	209
§ 34. Ruch ciała pod działaniem siły ciężkości.	215
§ 35. Ruch ciała pod działaniem kilku sił	221
§ 36. Wzajemne oddziaływanie ciał. Pęd ciała. Zasada zachowania pędu.	226
§ 37. Ruch odrzutowy. Rakiety. Osiągnięcia w kosmonautyce	231
§ 38. Zastosowanie praw zachowania energii i pędu w zjawiskach mechanicznych.	235
<i>Praca laboratoryjna nr 7</i>	241
§ 39. Fundamentalne oddziaływania w przyrodzie. Zakresy stosowania fizycznych praw i teorii. Fundamentalny charakter zasad zachowania.	243
§ 40. Ewolucja fizycznego obrazu świata. Fizyka a naukowo-techniczny postęp	250
Kartka z encyklopedii	555
Podsumowanie rozdziału V	256
Zadania do rozdziału V	258
Proponowane tematy projektów. Tematy referatów. Tematy badań eksperymentalnych	260
Fizyka a ekologia. Alternatywne źródła energii	261
Przedrostki do tworzenia nazw wielokrotnościowych i części jednostek	266
Odpowiedzi do ćwiczeń i zadań	266
Skorowidz	268

Wiadomości o stanie podręcznika

Lp.	Nazwisko i imię ucznia	Rok szkolny	Stan podręcznika	
			na początku roku	na końcu roku
1				
2				
3				
4				
5				

Навчальне видання
БАР'ЯХТАР Віктор Григорович
ДОВГИЙ Станіслав Олексійович
БОЖИНОВА Файна Яківна
КІРЮХІНА Олена Олександрівна

ФІЗИКА

**Підручник для 9 класу загальноосвітніх навчальних закладів
з навчанням польською мовою**

За редакцією В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Переклад з української мови

Перекладачі: *Середа Ірина Григорівна, Іваницька Едіта Володимирівна*

Польською мовою

Редактор *О. М. Бойцун.*
Художнє оформлення *В. І. Труфен.*

Формат 70×100/16. Ум. друк. арк. 22,10. Обл.-вид. арк. 28,73.

Тираж 123 пр. Зам. № 48 П

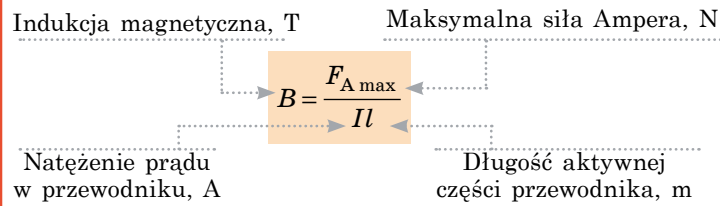
Державне підприємство „Всеукраїнське спеціалізоване видавництво „Світ”
79008 м. Львів, вул. Галицька, 21

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 4826 від 31.12.2014
www.svit.gov.ua, e-mail: office@svit.gov.ua, svit_vydav@ukr.net

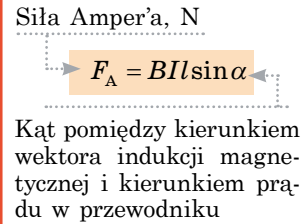
Друк ТДВ „Патент”
88006 м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 4078 від 31.05.2011

POLE MAGNETYCZNE

Indukcja magnetyczna

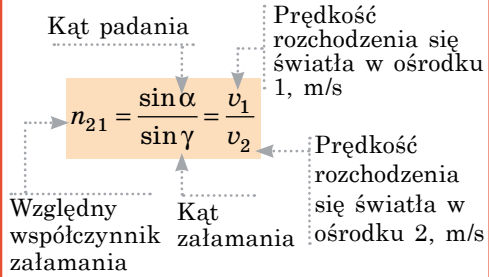


Siła Amper'a



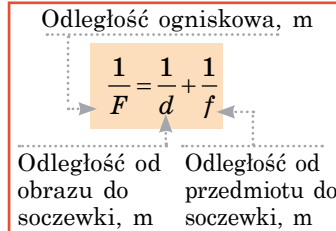
ZJAWISKA OPTYCZNE

Współczynnik załamania

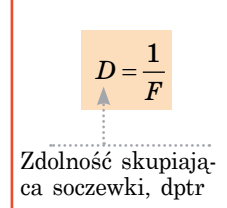


Soczewki

Wzór cienkiej soczewki

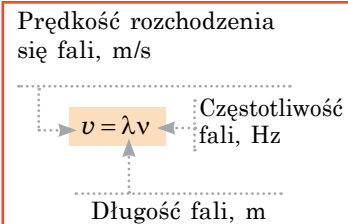


Zdolność skupiająca soczewki

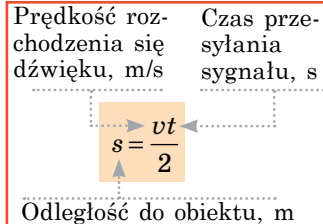


FALE MECHANICZNE I ELEKTROMAGNETYCZNE

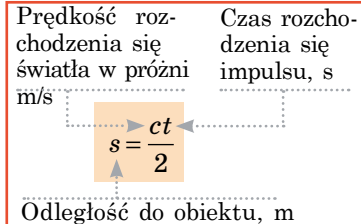
Wzór fali



Echolokacja

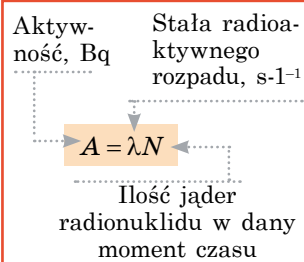


Radiolokacja



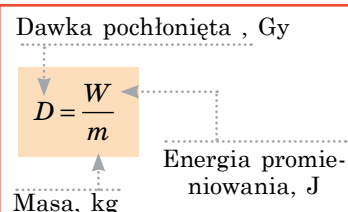
PROMIENIOWANIE RADIOAKTYWNE

Aktywność

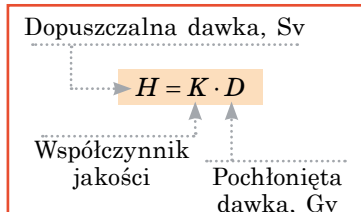


Dawka promieniowania jonizującego

pochłonięta

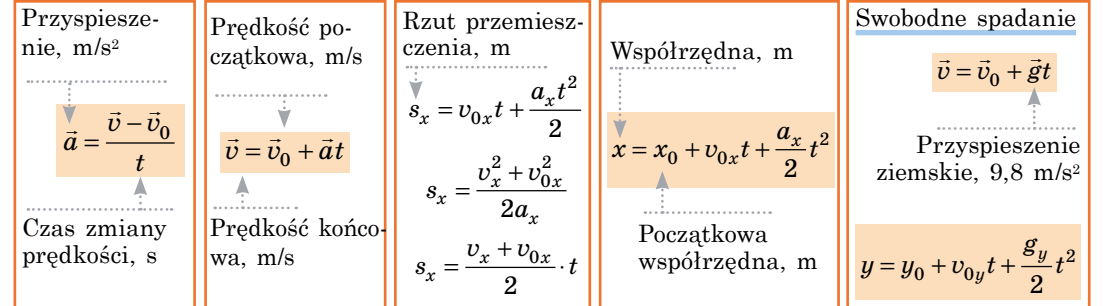


dopuszczalna



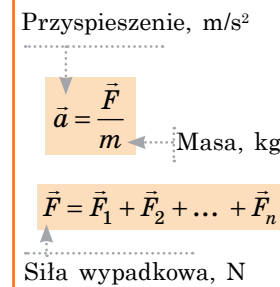
KINEMATYKA

Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony

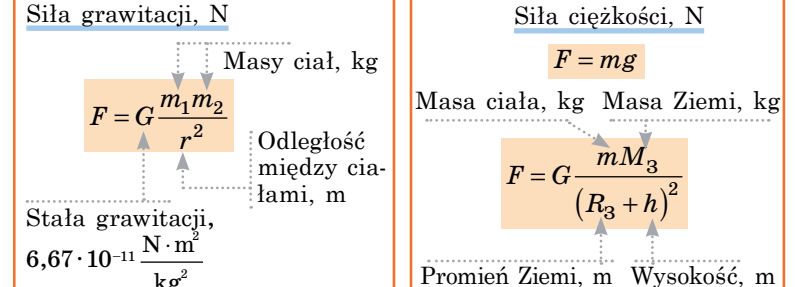


DYNAMIKA, STATYKA

Druga zasada Newtona

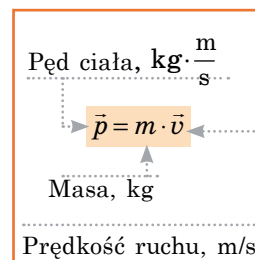


Siła grawitacji

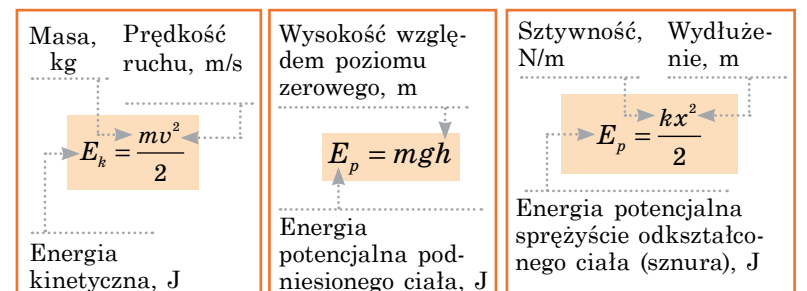


PĘD CIAŁA, ENERGIA MECHANICZNA

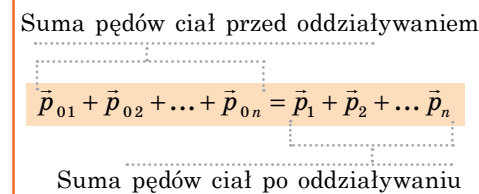
Pęd ciała



Energia mechaniczna



Prawo zachowania pędu



Prawo zachowania energii mechanicznej

