



Оріон

Т. М. Засекіна, Д. О. Засекін

Фізика

для загальноосвітніх навчальних закладів
з поглибленим вивченням фізики



9

Основні фізичні сталі

Швидкість світла у вакуумі	$c = 3 \cdot 10^8$ м/с
Гравітаційна стала	$G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ м ³ /(кг · с ²)
Прискорення вільного падіння	$g = 9,8$ м/с ²
Атомна одиниця маси	1 а.о.м. = $1,6606 \cdot 10^{-27}$ кг
Число Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Елементарний заряд	$e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл
Маса електрона	$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг
Маса протона	$m_p = 1,672 \cdot 10^{-27}$ кг
Маса нейтрона	$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$ кг
Електрична стала	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнітна стала	$\mu_0 = 1,672 \cdot 10^{-6}$ Гн/м
Деякі астрономічні величини	
Радіус і маса Землі	$6,37 \cdot 10^6$ м; $5,98 \cdot 10^{24}$ кг
Радіус і маса Сонця	$6,95 \cdot 10^8$ м; $1,98 \cdot 10^{30}$ кг
Радіус і маса Місяця	$1,74 \cdot 10^6$ м; $7,33 \cdot 10^{22}$ кг

Швидкість поширення звуку в різних середовищах, м/с

Сталь	5100	Свинець	1300	Вода, 0 °С	1485
Скло	5000	Корок	500	Водень, 0 °С	1286
Деревина	4000	Гума	54	Повітря, 0 °С	332

Показник заломлення

Алмаз	2,4	Сірковуглець	1,63
Вода	1,3	Скло	1,6
Повітря	1,00029	Спирт етиловий	1,36

Періоди піврозпаду деяких радіоактивних речовин

Ізотоп	Період піврозпаду	Ізотоп	Період піврозпаду
Вісмут $^{210}_{83}\text{Bi}$	5,02 доби	Радон $^{222}_{86}\text{Rn}$	3,82 доби
Іридій $^{192}_{77}\text{Ir}$	75 діб	Стронцій $^{90}_{38}\text{Sr}$	28 років
Кальцій $^{45}_{20}\text{Ca}$	164 доби	Торій $^{233}_{90}\text{Th}$	$1,39 \cdot 10^{11}$ років
Натрій $^{24}_{11}\text{Na}$	15,3 год	Уран $^{235}_{92}\text{U}$	$7,1 \cdot 10^8$ років
Полоній $^{210}_{84}\text{Po}$	138 діб	Уран $^{238}_{92}\text{U}$	$4,5 \cdot 10^9$ років
Радій $^{226}_{88}\text{Ra}$	1600 років		

Таблиці значень синусів і тангенсів для кутів 0–90°

Градуси	Синуси	Тангенси	Градуси	Синуси	Тангенси	Градуси	Синуси	Тангенси
0	0,0000	0,0000	31	0,5150	0,6009	61	0,8746	1,804
1	0,0175	0,0175	32	0,5299	0,6249	62	0,8829	1,881
2	0,0349	0,0349	33	0,5446	0,6494	63	0,8910	1,963
3	0,0523	0,0524	34	0,5592	0,6745	64	0,8988	2,050
4	0,0698	0,0699	35	0,5736	0,7002	65	0,9063	2,145
5	0,0872	0,0875	36	0,5878	0,7265	66	0,9135	2,246
6	0,1045	0,1051	37	0,6018	0,7536	67	0,9205	2,356
7	0,1219	0,1228	38	0,6157	0,7813	68	0,9272	2,475
8	0,1392	0,1405	39	0,6293	0,8098	69	0,9336	2,605
9	0,1564	0,1584	40	0,6428	0,8391	70	0,9397	2,747
10	0,1736	0,1763	41	0,6561	0,8693	71	0,9455	2,904
11	0,1908	0,1944	42	0,6691	0,9004	72	0,9511	3,078
12	0,2079	0,2126	43	0,6820	0,9325	73	0,9563	3,271
13	0,2250	0,2309	44	0,6947	0,9657	74	0,9613	3,487
14	0,2419	0,2493	45	0,7071	1,0000	75	0,9659	3,732
15	0,2588	0,2679	46	0,7193	1,036	76	0,9703	4,011
16	0,2756	0,2867	47	0,7314	1,072	77	0,9744	4,331
17	0,2924	0,3057	48	0,7431	1,111	78	0,9781	4,705
18	0,3090	0,3249	49	0,7547	1,150	79	0,9816	5,145
19	0,3256	0,3443	50	0,7660	1,192	80	0,9848	5,671
20	0,3420	0,3640	51	0,7771	1,235	81	0,9877	6,314
21	0,3584	0,3839	52	0,7880	1,280	82	0,9903	7,115
22	0,3746	0,4040	53	0,7986	1,327	83	0,9925	8,114
23	0,3907	0,4245	54	0,8090	1,376	84	0,9945	9,514
24	0,4067	0,4452	55	0,8192	1,428	85	0,9962	11,43
25	0,4226	0,4663	56	0,8290	1,483	86	0,9976	14,30
26	0,4384	0,4877	57	0,8387	1,540	87	0,9986	19,08
27	0,4540	0,5095	58	0,8480	1,600	88	0,9994	28,64
28	0,4695	0,5317	59	0,8572	1,664	89	0,9998	57,29
29	0,4848	0,5543	60	0,8660	1,732	90	1,0000	∞
30	0,5000	0,5774						

УДК 53(075.3:37.046-028.42)
3-36

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ МОН України від 20.03.2017 р. № 417)

ВИДАНО ЗА РАХУНОК ДЕРЖАВНИХ КОШТІВ. ПРОДАЖ ЗАБОРОНЕНО

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

Володимир Мойсейович Ятвецький, Одеський обласний інститут удосконалення вчителів, кафедра природничо-математичних дисциплін та інформаційних технологій, старший викладач, учитель-методист;

Андрій Миколайович Андрєєв, Запорізький національний університет, кафедра фізики та методики її викладання, докторант, кандидат педагогічних наук, доцент

Навчальне видання

ЗАСЕКИНА Тетяна Миколаївна
ЗАСЕКИН Дмитро Олександрович

ФІЗИКА

**для загальноосвітніх навчальних закладів
з поглибленим вивченням фізики**

Підручник для 9 класу загальноосвітніх
навчальних закладів

На обкладинці підручника використано фотографії *Dmytro Tolokonov, Leonello Calvetti, Юрія Туру*.
При оформленні підручника використано малюнки художника *Наталії Андрійченко* та фотоілюстрації з вільних джерел мережі Інтернет: *Aapo Haapanen, Alejandro Lozano Campana, Andrea Danti, Andrea Fernandez, Andrew Ostrovsky, Anton Balazh, Arndt Müller, Bryce Bradford, Carsten Frenzl, Crezaly Neron Uratsuji, Dan Foy, Daniel Wisniewski, Danny Zaragoza, Davide Anselmi, Denis Pearson, Derek Gavey, Don Baird, Doug Mall, Ed Dunens Follow, Elena Pimonova, Elena Schweitzer, Elvert Barnes, EmyJack, ESA/NASA, Gabrielle Gallant, Hatici Sosyal, Henk-Jan van der Klis, Hernán Piñera, Jack Scott, Jacob Wilkinson, James Edwin McConnell, Jeramey Jannene, Jeremy Segrott, Julian Pecenco, Kalle Gustafsson, Lance Fisher, Lars Veldscholte, Luciano Cosmo, Marci, Marcus Dorsey, Marius Graf, Mariusz Kluzniak, Mark Schofield, Martin Hieslmair, Mathieu Lebreton, Mats Jarmer, Matt Hohmann, Max Talbot-Minkin, Michał Huniewicz, Mick Baker, Mr. Nixter, Myles Winstone, Naqib Najah, National Institute of Neurological Disorders and Stroke, National Institutes of Health, Nick Vidal-Hall, Noel Bauza, Noppadol Anaporn, Olesiy Mark, Panther, Penn State, Peter Roome, Raymond Zoller, Ricky Thakrar, Roberto Biasini, Sara Duane, Silvio Mechow, Solar Dynamics Observatory, NASA, Stanley Zimny, Susanna Blavarg, Susanne Nilsson, Takashi Ota, Thomas Kohler, Tomasz Mikołajczyk, Tony Bombardo, Vadim Kurland, Vincent Nguyen, Warka Water, Yulia Taranik, Zufakov, Борис Рабцевич, а також матеріали сайту *freepik.com*.*

Засекина Т. М.

3-36 Фізика для загальноосвітніх навчальних закладів з поглибленим вивченням фізики : підруч. для 9 кл. загальноосвіт. навч. закладів / Т. М. Засекина, Д. О. Засекін. — К. : УОБЦ «Оріон», 2017. — 272 с. : іл.
ISBN 978-617-7485-28-4.

Редактор *О. С. Ісак*
Головний художник *І. П. Медведовська*
Технічний редактор *Е. А. Авраменко*
Коректор *С. В. Войтенко*

Формат 70x100 ¹/₁₆.
Ум. друк. арк. 22,032 + 0,324 форзац.
Обл.-вид. арк. 21,00 + 0,55 форзац.
Наклад 4450 пр. Зам. №

**ТОВ «Український освітянський
видавничий центр «Оріон»»**

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції
Серія ДК № 4918 від 17.06.2015 р.
Адреса видавництва: 03061,
м. Київ, вул. Миколи Шепелева, 2
www.orioncentr.com.ua

Віддруковано ТОВ «НВП Поліграфсервіс»,
вул. Юрія Коцюбинського, 4, к. 25,
м. Київ, 04053
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3751 від 01.04.2010.

УДК 53(075.3:37.046-028.42)

ISBN 978-617-7485-28-4

© Т. М. Засекина, Д. О. Засекін, 2017
© УОБЦ «Оріон», 2017

Як користуватися підручником

Юні друзі!

Вивчаючи фізику в 7 й 8 класі, ви переконалися, що ця наука відкриває для вас багато таємниць природи, допомагає пояснити явища, які трапляються вам на кожному кроці. У 9 класі, вивчаючи електромагнітні й світлові явища, а також процеси, що відбуваються в атомах й атомних ядрах, ви зробите ще більше відкриттів! Окрім цього, ви ще раз, але вже більш ґрунтовно, дослідите механічні явища, а також дізнаєтеся про еволюцію фізичної картини світу і вплив фізики на розвиток суспільства та науково-технічний прогрес.

Полегшить вам цей шлях пізнання книга, яку ви тримаєте в руках і з якою працюватимете впродовж навчального року. У цьому підручнику — п'ять розділів. Перед кожним з них коротко викладено суть матеріалу, що міститься в даному розділі. Розділи поділено на параграфи, що починаються з коротких рубрик «Ви дізнаєтесь» і «Пригадайте». Ці рубрики повідомлять вам про основні питання, які розглядатимуться в параграфі, а також підкажуть, що потрібно пригадати з раніше вивченого. В основному тексті параграфа формули, визначення й поняття для зручності виділено шрифтом і кольором. Важливу й цікаву інформацію розміщено на кольоровому фоні.

Важливо, щоб результатом навчання стали не лише глибокі й міцні знання з фізики, а й сформовані вміння використовувати їх для розв'язання різноманітних навчальних і життєвих задач. Із цією метою в підручнику після кожного параграфа є рубрика «Формуємо компетентність», у якій пропонуються завдання різного типу: для перевірки знань, формування експериментальних умінь, виявлення творчості й креативності.

Оскільки розв'язування фізичних задач є одним з найважливіших умінь, що формуються у процесі опанування фізики, то в підручнику вміщено приклади розв'язування задач і вправи із задачами різної складності. Задачі й завдання підвищеного рівня складності позначено зірочкою (*).

Виконуючи завдання з рубрики «Перевірте себе», ви зможете самостійно або під керівництвом учителя оцінити свої знання й вміння застосувати їх.

У кінці підручника вміщено відповіді до вправ і предметний покажчик.

**Бажаємо успіхів у навчанні, нехай ця книжка
стане вашим добрим помічником!**

Автори

ЗМІСТ

Як користуватися підручником	3
Розділ 1. Магнітні явища	7
§ 1. Магнітні явища. Дослід Ерстеда	8
§ 2. Магнітне поле. Індукція магнітного поля	10
§ 3. Гіпотеза Ампера. Магнітні властивості речовин	13
§ 4. Взаємодія магнітів	15
Вправа 1	18
§ 5. Магнітне поле Землі	20
§ 6. Магнітне поле провідника зі струмом	21
Вправа 2	24
§ 7. Електромагніти	26
Вправа 3	31
Лабораторна робота № 1. Складання та випробування електромагніту	32
§ 8. Дія магнітного поля на провідник зі струмом. Сила Ампера	34
Вправа 4	37
§ 9. Електродвигуни	39
Вправа 5	41
§ 10. Дія магнітного поля на рухомий електричний заряд. Сила Лоренца	43
Вправа 6	46
§ 11. Досліди Фарадея. Явище електромагнітної індукції. Індукційний електричний струм	47
Вправа 7	51
§ 12. Генератори індукційного струму. Промислові джерела електричної енергії	52
Перевірте себе	55
Виконуємо навчальні проекти	57
Розділ 2. Світлові явища	58
§ 13. Джерела й приймачі світла. Швидкість поширення світла	59
Вправа 8	63
§ 14. Світловий промінь і світловий пучок. Закон прямолінійного поширення світла. Сонячне та місячне затемнення	63
Вправа 9	68
§ 15. Відбиття світла. Закон відбиття світла	68
Вправа 10	71
§ 16. Плоске та сферичне дзеркала	72
Вправа 11	75
Лабораторна робота № 2. Дослідження відбиття світла за допомогою плоского дзеркала	76
§ 17. Заломлення світла на межі поділу двох середовищ. Закон заломлення світла	77
Вправа 12	81
Лабораторна робота № 3. Дослідження заломлення світла	81
§ 18. Спектральний склад природного світла. Дисперсія світла. Кольори	83
§ 19. Лінзи. Оптична сила й фокусна відстань лінзи. Отримання зображень за допомогою лінзи. Формула тонкої лінзи	86

Вправа 13	93
Лабораторна робота № 4. Визначення фокусної відстані	
та оптичної сили тонкої лінзи	94
§ 20. Найпростіші оптичні прилади	95
§ 21. Око як оптичний прилад. Зір і бачення.	
Вади зору та їх корекція. Окуляри	99
§ 22. Сила світла й освітленість	101
Вправа 14	107
Перевірте себе	108
Виконуємо навчальні проекти	110
Розділ 3. Механічні та електромагнітні хвилі	111
§ 23. Виникнення та поширення механічних хвиль	112
Вправа 15	117
§ 24. Звукові хвилі. Швидкість поширення звуку	117
Вправа 16	121
§ 25. Акустичні та фізіологічні характеристики звуку	121
§ 26. Вібрації та шуми. Інфра- й ультразвук та їх застосування	125
§ 27. Електромагнітне поле й електромагнітні хвилі	128
§ 28. Шкала електромагнітних хвиль	132
§ 29. Принцип радіозв'язку. Радіолокація	136
Вправа 17	140
§ 30. Фізичні основи сучасних бездротових засобів зв'язку та комунікацій	141
Перевірте себе	144
Виконуємо навчальні проекти	146
Розділ 4. Фізика атома та атомного ядра.	
Фізичні основи атомної енергетики	147
§ 31. Сучасна модель атома. Досліди Резерфорда	148
§ 32. Протонно-нейтронна модель ядра атома. Ядерні сили	152
Вправа 18	154
§ 33. Радіоактивність. Радіоактивні випромінювання	155
§ 34. Правила радіоактивного зміщення	157
Вправа 19	160
§ 35. Активність радіоактивної речовини. Закон радіоактивного розпаду	160
Вправа 20	164
§ 36. Йонізаційна й біологічна дії радіоактивного випромінювання	165
§ 37. Ізотопи. Використання ізотопів	168
§ 38. Поділ важких ядер. Ланцюгова ядерна реакція поділу	171
Вправа 21	173
§ 39. Ядерний реактор. Атомні електростанції	174
§ 40. Атомна енергетика України. Екологічні проблеми атомної енергетики	179
§ 41. Термоядерні реакції. Енергія Сонця й зір	182
§ 42. Радіаційний фон. Дозиметрія	184
Перевірте себе	190
Виконуємо навчальні проекти	192

Розділ 5. Рух і взаємодія. Закони збереження в механіці	193
§ 43. Прискорення. Рівноприскорений рух	194
Вправа 22	197
§ 44. Графіки прямолінійного рівноприскореного руху. Швидкість і переміщення рівноприскореного руху.	198
Вправа 23	203
§ 45. Інерціальні системи відліку. Перший закон Ньютона	204
§ 46. Другий закон Ньютона	207
Вправа 24	211
§ 47. Третій закон Ньютона. Межі застосування класичної механіки	213
Вправа 25	215
§ 48. Закон всесвітнього тяжіння.	215
Вправа 26	217
§ 49. Рух тіла під дією сили тяжіння. Прискорення вільного падіння	217
Вправа 27	221
§ 50. Рух тіла, кинутого горизонтально та під кутом до горизонту	221
Вправа 28	225
Лабораторна робота № 5. Дослідження руху тіла, кинута горизонтально	225
§ 51. Рух тіла під дією кількох сил	227
Вправа 29	230
§ 52. Імпульс. Закон збереження імпульсу.	231
Вправа 30	236
§ 53. Реактивний рух. Фізичні основи ракетної техніки	236
§ 54. Механічна робота. Потенціальна і кінетична енергії	239
§ 55. Застосування законів збереження енергії та імпульсу в механічних явищах	242
Вправа 31	246
§ 56. Математичний і пружинний маятники	247
Вправа 32	251
Перевірте себе	252
Фізика та екологія	254
Фізика і проблеми безпеки життєдіяльності людини	254
Фізичні основи бережливого природокористування	258
Енергетичні ресурси. Альтернативні джерела енергії	261
Еволюція фізичної картини світу	262
Еволюція фізичної картини світу	261
Вплив фізики на суспільний розвиток та науково-технічний прогрес	267
Виконуємо навчальні проекти	269
Відповіді до вправ	270
Предметний покажчик	271

МАГНІТНІ ЯВИЩА



Магнітні явища та їх практичне застосування є тим, про що можна сказати «гідне подиву». Передача електричних сигналів на відстань (по провідниках і в просторі), магнітотерапія, індукційні печі, левітація... Ці та багато інших технологічних досягнень слугують людині завдяки дослідженню магнітних явищ. Вивчаючи взаємодію магнітів, дію магнітного поля Землі, магнітну взаємодію провідників зі струмом, умови виникнення електричного струму внаслідок зміни магнітного поля ви пройдете шлях дослідників, які присвятили своє життя розгадці таємниць електромагнетизму.

§1

Магнітні явища. Дослід Ерстеда

Ви дізнаєтесь

- Про загальні особливості магнітних явищ
- Коли і як виникає магнітне поле

Пригадайте

- Що вам відомо про магнітні явища
- У чому полягає магнітна дія електричного струму



Мал. 1. Магнітний залізняк

Магнітні явища. Кожен з вас у дитинстві, мабуть, грався магнітом, спостерігаючи притягання до нього предметів із заліза. Це одне з магнітних явищ, які були відомі людству ще в часи стародавнього світу. Уперше речовини, що притягували до себе залізні предмети, були знайдені, ймовірно, у стародавньому місті Магнесія на півострові Мала Азія, оскільки слово «магніт» у перекладі з грецької означає «камінь з Магнесії».

Сучасна назва цієї речовини — магнітний залізняк (магнетит) (мал. 1).

За допомогою інтернет-ресурсів ви можете дослідити, де в Україні та світі є найбільші поклади магнітного залізняку; який його хімічний склад; які ще залізні руди існують.

Пригадаймо, що нам відомо про магнітні явища з уроків природознавства, фізики та життєвого досвіду. По-перше, магніти здатні притягувати до себе невеликі предмети із заліза (мал. 2, а), або навпаки — притягуватись до масивних залізних предметів (мал. 2, б).

По-друге, два магніти можуть притягуватись або відштовхуватись один від одного (мал. 3).

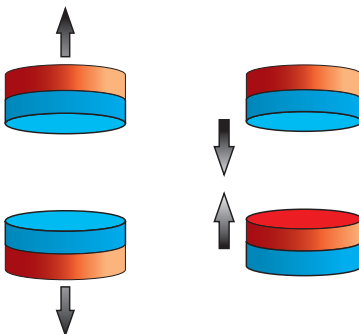
По-третє, наша планета Земля — це також величезний магніт (мал. 4).



а



б



а

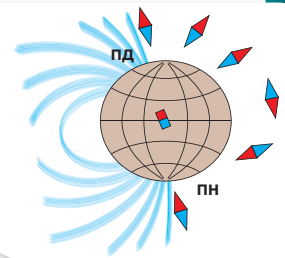
б

Мал. 2. Взаємодія магнітів і залізних тіл

Мал. 3. Взаємодія магнітів:
а — відштовхування; б — притягання

Природа магнітної взаємодії. Тривалий час магнітні й електричні взаємодії вважали явищами, що не пов'язані між собою. І лише в 1820 р. данський учений Ганс Крістіан Ерстед виявив дію електричного струму на магнітну стрілку, що змусило вчених замислитися про взаємозв'язок між електричними й магнітними явищами. Ганс Ерстед демонстрував своїм студентам теплову дію електричного струму. Біля провідника, який нагрівався електричним струмом, випадково опинився компас. Один зі студентів помітив, що в момент замикання кола стрілка компаса змінювала орієнтацію в просторі, а в разі розмикання кола — поверталася в початкове положення. Зацікавлений студент попросив Ерстеда пояснити це явище. Однак професор не зміг цього зробити, бо ніколи раніше нічого подібного не спостерігав. До честі Ерстеда, він не відмахнувся від допитливого юнака, а повторив дослід і... зробив відкриття.

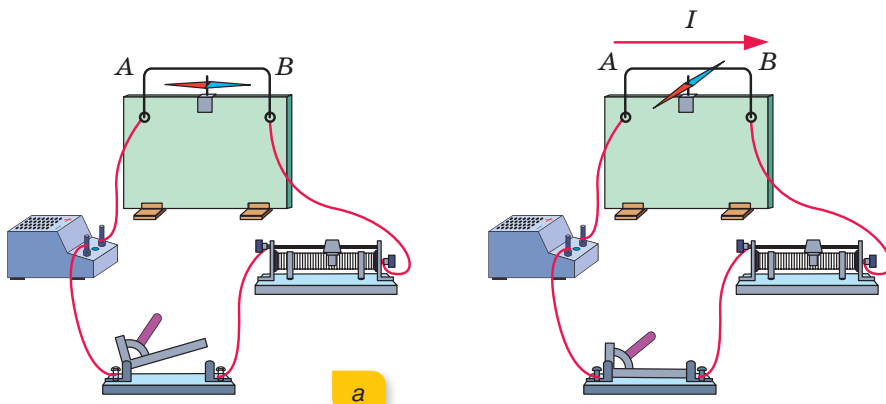
Розглянемо детальніше цей дослід. Складемо електричне коло із джерела струму, досліджуваного провідника, реостата й вимикача. Розташуємо досліджуваний провідник над магнітною стрілкою так, як показано на малюнку 5, а. Коли коло розімкнене, стрілка залишається паралельною провіднику.



Мал. 4. Земля — величезний магніт



Ганс Крістіан Ерстед
(1777–1851)
Данський фізик і хімік



Мал. 5. Дослід Ерстеда

У разі замикання кола магнітна стрілка відхиляється від свого початкового положення (мал. 5, б). При розмиканні кола магнітна стрілка повертається в початкове положення. Це означає, що провідник зі струмом і магнітна стрілка (магніт) взаємодіють одне з одним. До того ж, як вам відомо, взаємодія між тілами може відбуватись або завдяки контакту між ними, або за допомогою поля. У 8 класі ми вивчали електричне поле, яке

існує навколо електрично заряджених частинок. Але, як видно з досліду, пояснити взаємодію магнітної стрілки й провідника зі струмом існуванням електричного поля не можна, тому що електричне поле навколо провідника існує і в замкнутому, і в розімкнутому колі, а відхилення магнітної стрілки спостерігається лише в разі проходження через провідник електричного струму. Отже, навколо провідника зі струмом, окрім електричного поля, існує ще й магнітне.

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Які явища є магнітними? Що вам відомо про магнітну взаємодію?
2. У чому полягає суть та історичне значення досліду Ерстеда?

Я вмю досліджувати й експериментувати

1. Якщо поліетиленовий файл потерти декілька разів об аркуш паперу, то при віддалені на невелику відстань (близько 10 см) вони притягуватимуться одне до одного. Електричне чи магнітне явище відбувається при цьому? Поясніть його.
2. У який спосіб можна дізнатися, чи є електричний струм у провіднику, не користуючись при цьому гальванометром або амперметром?

§ 2

Магнітне поле. Індукція магнітного поля

Ви дізнаєтесь

- Що таке індукція магнітного поля

Пригадайте

- У якому випадку виникає магнітне поле

Магнітне поле. Дослід Ерстеда, який ми розглянули в попередньому параграфі, доводить, що причиною існування магнітного поля є електричний струм. Далі ми встановимо, що електричні й магнітні поля утворюють єдине електромагнітне поле. Але в цьому й наступних параграфах даного розділу будемо розглядати лише деякі властивості окремого прояву електромагнітного поля, а саме — поля магнітного.

Магнітне поле — форма матерії (окремий прояв електромагнітного поля), за допомогою якого здійснюється взаємодія між рухомими електрично зарядженими частинками (провідниками, якими проходить електричний струм).

Електричний струм і магнітне поле невіддільні одне від одного. Електричний струм слід розглядати як джерело магнітного поля. У цьому разі кажуть: магнітне поле існує навколо й у середині будь-якого провідника

зі струмом, тобто навколо рухомих електрично заряджених частинок. (Часто для спрощення вираз «магнітне поле, що існує навколо і в середині провідника, по якому проходить електричний струм» замінюють на вислів «магнітне поле струму».)

Як і у випадку електричного поля, магнітне поле досліджують за допомогою індикатора. Для електричного поля індикатором був пробний позитивний заряд, а для магнітного поля — магнітна стрілочка (мал. 6, а). За її допомогою можна виявити наявність магнітного поля, наприклад, плоского магніту (мал. 6, б), а за допомогою великої кількості маленьких магнітних стрілочок можна отримати наочне зображення магнітного поля (мал. 6, в).

Дослідження взаємодії магнітів доводять, що магнітні поля відрізняються силою своєї дії. Це приводить до необхідності введення фізичної величини, яка б кількісно описувала силову дію магнітного поля.

Індукція магнітного поля. Величина, яка кількісно описує силову дію магнітного поля, називається *індукцією магнітного поля*. Індукція магнітного поля є векторною величиною й позначається літерою \vec{B} .

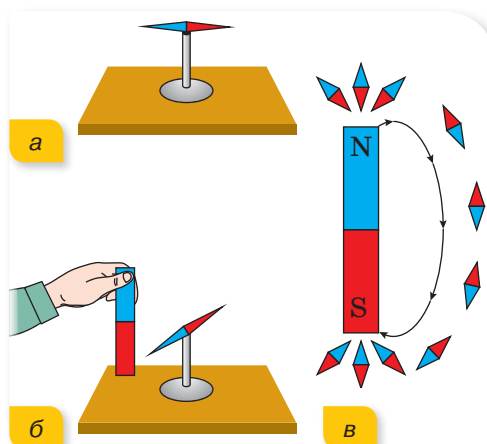
Індукція магнітного поля \vec{B} — це фізична величина, яка характеризує силову дію магнітного поля.

У наступних параграфах ми детальніше ознайомимось із цією величиною.

Уявну лінію в просторі, дотична до якої в будь-якій точці збігається з напрямком вісі магнітної стрілки називають *лінією індукції магнітного поля* (або *силовою лінією магнітного поля*). За допомогою ліній індукції магнітного поля зручно зображати магнітне поле графічно. Менша відстань між сусідніми лініями індукції відображає більш сильну дію магнітного поля в цьому місці. Тому, графічно зображуючи магнітне поле, можна наочно представити, як змінюється в просторі величина індукції магнітного поля.

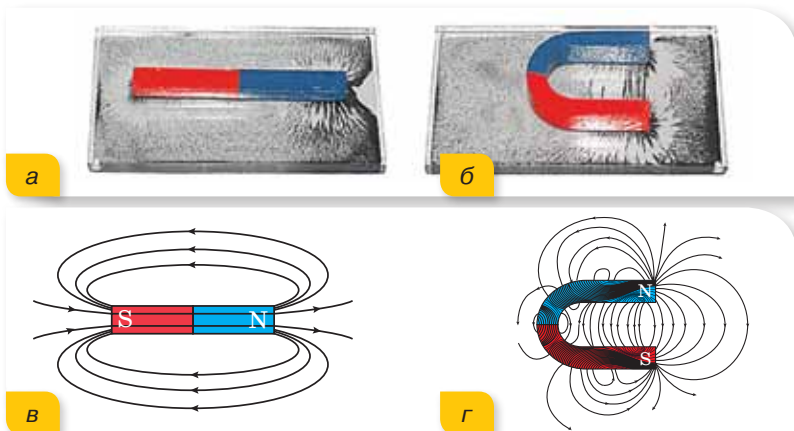
За напрямком ліній індукції магнітного поля прийнято напрямком, який вказує північний полюс магнітної стрілки в кожній точці магнітного поля (мал. 6, в).

Структуру магнітного поля навколо магніту можна дослідити як за допомогою магнітних стрілок, так і за допомогою залізних ошурок. Перебуваючи в магнітному полі, ошурки намагнічуються й перетворюються



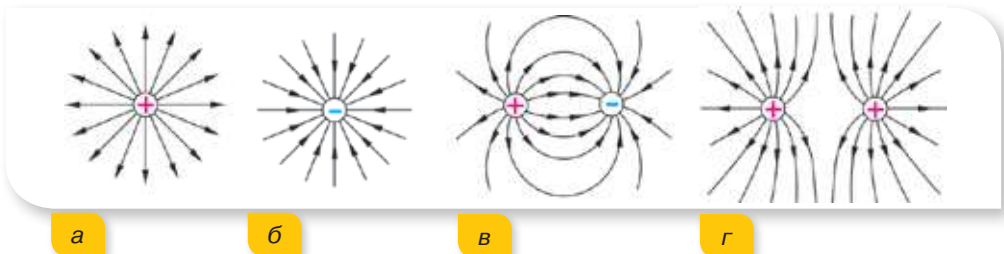
Мал. 6. Магнітна стрілка — індикатор для дослідження магнітного поля

на маленькі магнітні стрілочки. На малюнку 7, а, б показано фотографії, на яких лінії індукції магнітних полів постійних магнітів відображені за допомогою залізних ошурок, а на малюнку 7, в, г показано графічні зображення цих магнітних полів.



Мал. 7. Зображення магнітних полів: а, в — штабового магніту; б, г — дугового магніту

Лінії індукції магнітного поля — це обов'язково замкнуті криві (у них немає початку й кінця). Поза магнітом вони виходять з північного полюса і входять у південний. Цим магнітне поле принципово відрізняється від електричного, у якого силові лінії електричного поля починаються на нерухомих позитивних електричних зарядах і закінчуються на негативних (мал. 8).



Мал. 8. Графічне зображення електричного поля: а — позитивного заряду; б — негативного заряду; в — двох різнойменних зарядів; г — двох однойменних зарядів

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. Як досліджують магнітне поле?
2. Що характеризує індукція магнітного поля?
3. Як графічно зображають магнітне поле?
4. Які особливості графічного зображення магнітного й електричного полів?

§ 3

Гіпотеза Ампера. Магнітні властивості речовин

Гіпотеза Ампера. Ми з'ясували, що магнітне поле виникає навколо провідника зі струмом. Але вивчення магнітних явищ почалось із дослідження взаємодії магнітів. Чим же пояснюються їхні магнітні властивості?

Після того, як було доведено, що магнітна взаємодія тісно пов'язана з електричним струмом, французький учений Андре Марі Ампер припустив (як кажуть учені — висунув гіпотезу), що магнітні властивості речовини можна пояснити існуванням електричних струмів (руху заряджених частинок) усередині кожного атома речовини. У часи Ампера про будову атома ще нічого не знали, і тому природа молекулярних струмів залишалась невідомою. Тепер відомо, що в кожному атомі є негативно заряджені електрони. Унаслідок руху електронів виникають слабкі магнітні поля. (Це лише часткове пояснення магнітних властивостей речовини. Сучасні уявлення про природу магнетизму ґрунтуються на законах квантової механіки.)

Магнітні властивості речовини. У більшості випадків вектори індукції магнітних полів окремих атомів речовини спрямовані в різних напрямках. Саме тому магнітні поля сусідніх атомів компенсують одне одного (мал. 9, а). Якщо ж речовину вмістити в зовнішнє магнітне поле, то вектори індукції магнітних полів окремих атомів переорієнтуються в напрямку, що збігається з напрямком зовнішнього магнітного поля (мал. 9, б). Унаслідок цього утвориться власне елементарне магнітне поле речовини, тобто речовина намагнітиться.

Але різні речовини по-різному реагують на зовнішнє магнітне поле. Одні з них намагнічуються сильніше (залізо, сталь), інші — слабше, а є й такі речовини, які при вміщенні їх у зовнішнє магнітне поле послаблюють його (це відбувається тому, що їхні власне й зовнішнє магнітні поля орієнтуються в протилежних напрямках). Тому за реакцією на зовнішнє магнітне поле речовини поділяють на три групи: *діамагнетики*, *парамагнетики* та *феромагнетики*.

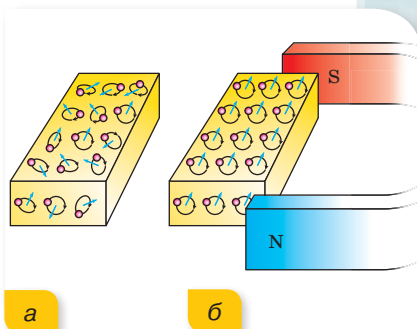
До *діамагнетиків* належать інертні гази, більшість органічних сполук, багато металів (вісмут, цинк, золото, мідь, срібло, ртуть та ін.), смоли, вода, скло тощо. При внесенні діамагнітної речовини в магнітне поле в кожному її атомі виникає власне магнітне поле, що спрямоване протилежно до зовнішнього магнітного поля.

Ви дізнаєтесь

- Що є причиною магнітних властивостей речовин

Пригадайте

- У якому випадку виникає магнітне поле



Мал. 9. Спрямування векторів індукції магнітних полів окремих атомів: а — хаотичне; б — упорядковане

До **парамагнетиків** належать: кисень, оксид азоту, алюміній, платина, рідкісноземельні елементи, лужні й лужноземельні метали тощо. У парамагнітному тілі виникає власне магнітне поле, у якого напрямок вектора магнітної індукції збігається з напрямком вектора магнітної індукції зовнішнього магнітного поля.

Феромагнітними речовинами — **феромагнетиками** — називають такі речовини, у яких внутрішнє (власне) магнітне поле може мати індукцію, яка в сотні й тисячі разів перевищує індукцію зовнішнього магнітного поля. До феромагнетиків належать залізо, нікель, кобальт і ряд сплавів. Причому феромагнетизм виявлено лише в речовин, що перебувають у твердому агрегатному стані.

Після винесення із зовнішнього магнітного поля феромагнітні речовини ще довго зберігають стан намагніченості й створюють власне магнітне поле. Саме ці речовини використовують для виготовлення магнітів.

Природні й штучні магніти. Природними магнітами є поклади залізної руди (магнітний залізняк). У цій речовині магнітні поля окремих атомів від природи зорієнтовані в одному напрямку.

На уроках фізики ви найчастіше будете використовувати штучні магніти: плоский (його ще називають смуговим або штабовим) та дуговий (підковоподібний). Штучні магніти виготовляють зі спеціальної сталі й намагнічують у сильному зовнішньому магнітному полі. Із часом такі магніти можуть втратити намагніченість. Особливо швидко це може трапитись, якщо нагрівати магніти або вдаряти їх. Спробуйте самостійно пояснити, чому так відбувається.

Постійний магніт — виріб, виготовлений з феромагнетика, здатного зберігати залишкову намагніченість після вилучення його із зовнішнього магнітного поля.



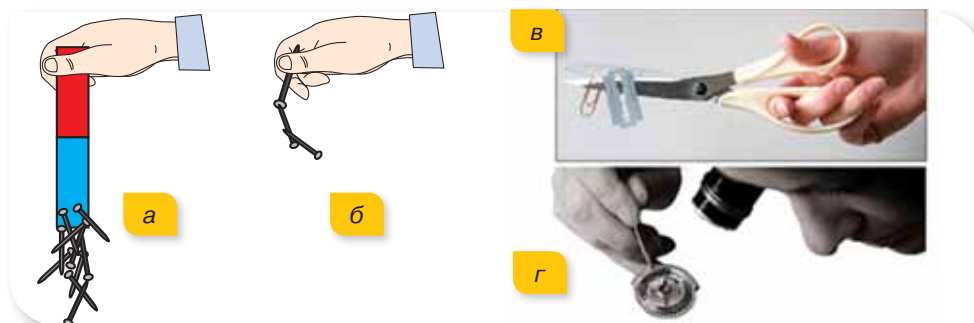
Мал. 10. Постійні магніти

На практиці як деталі технічних пристроїв використовують постійні магніти різної форми й розмірів, що виготовлені з різних матеріалів (мал. 10).

Найпоширенішими типами постійних магнітів є керамічні магніти (ферити, що складаються з оксиду заліза й барію або карбонату стронцію), алніко-магніти (назва складається з перших букв хімічних елементів, з яких робляться магніти: ал(юміній), ні(кель), ко(бальт)), неодим-залізо-барієві магніти (магніт об'ємом 1 см^3 із такого сплаву здатний утримати металеву пластину площею кілька квадратних метрів).

Штучний магніт легко отримати й самостійно. Наприклад, залізні цвяхи після взаємодії з магнітом (мал. 11, а) можуть намагнітитись і самостійно притягувати інші цвяхи (мал. 11, б). Після контакту з магнітом

намагнічуються й сталеві ножиці (мал. 11, в) та викрутки. Зокрема, намагнічені викрутки використовують майстри з ремонту годинників для більш зручної роботи з дрібними металічними деталями (мал. 11, г).



Мал. 11. Намагнічування

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Як Ампер пояснював намагніченість речовин, зокрема заліза?
2. Які тіла називають постійними магнітами?
3. Чому під час нагрівання магніт втрачає свої властивості?

§ 4

Взаємодія магнітів

Взаємодія постійних магнітів.

Під час досліджень постійних магнітів було встановлено:

- залізні предмети найбільш інтенсивно притягуються до полюсів магніту;
- два магніти можуть притягуватись або відштовхуватись один від одного;
- навколо магнітів існує магнітне поле.

Розглянемо досліди, що ілюструють властивості постійних магнітів. Будемо по черзі підносити магніт різними його частинами до залізного цвяха, закріпленого на динамометрі (мал. 12, с. 16).

Покази динамометра підтверджують, що найсильніше цвях притягується до полюсів магніту, а посередині магніту притягання відсутнє.

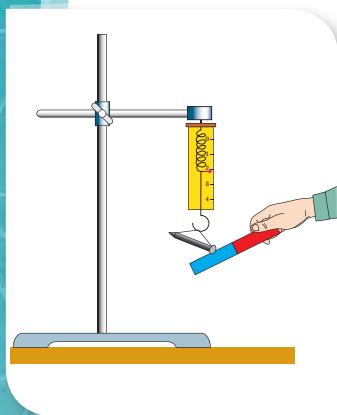
Наступними дослідями (мал. 13, а–в, с. 16) можна підтвердити, що різноіменні магнітні полюси притягуються, а однойменні — відштовхуються.

Ви дізнаєтесь

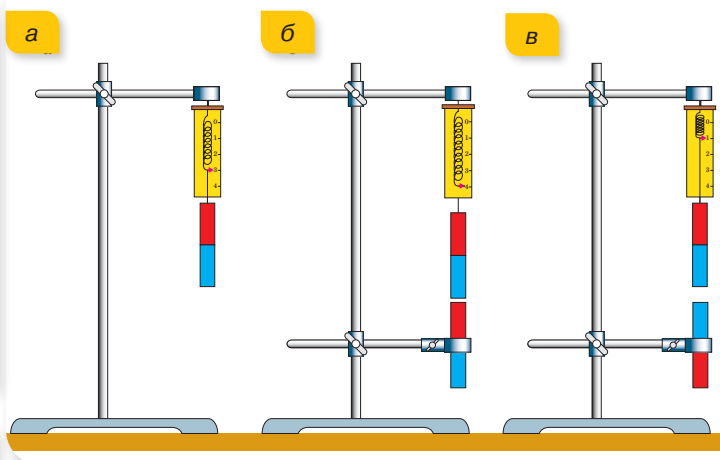
- Як взаємодіють постійні магніти

Пригадайте

- У якому випадку виникає магнітне поле



Мал. 12. Дослідження сили притягання металічних предметів до різних частин постійного магніту

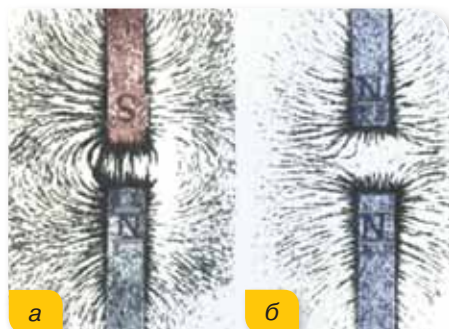


Мал. 13. Дослід з вивчення взаємодії магнітів

Під час пошуку інформації в Інтернеті або зарубіжних журналах вам досить часто будуть траплятися зображення магнітів з літерами *N* і *S* — це перші літери англійських слів *North* і *South*, що в перекладі означають північний і південний. Для позначення полюсів магнітів також використовують синій і червоний кольори. Проте червоним кольором позначають північний полюс (*N*), а синім — південний (*S*) (мал. 14, *а*). У нашій же країні прийнято позначати полюси магнітів традиційно: північний — синім; південний — червоним (мал. 14, *б*).



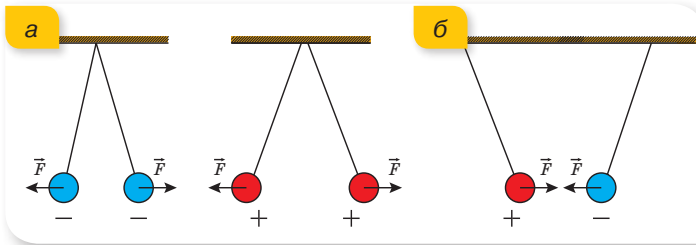
Мал. 14. Позначення полюсів магнітів: *а* — у деяких зарубіжних країнах; *б* — у нашій країні



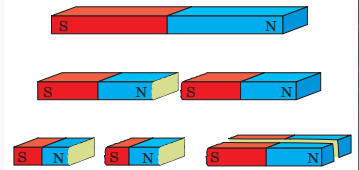
Графічні зображення взаємодії магнітних полів двох магнітів, що розташовані різнойменними (мал. 15, *а*) й однойменними полюсами (мал. 15, *б*) один до одного, ілюструють особливості взаємодії однойменних і різнойменних полюсів постійних магнітів.

Мал. 15. Зображення ліній магнітного поля під час взаємодії: *а* — різнойменних полюсів; *б* — однойменних полюсів

Пригадайте, електрично заряджені тіла також притягуються або відштовхуються. Це пояснюється існуванням двох видів електрично заряджених частинок: протонів та електронів, завдяки яким можна отримати позитивно або негативно електрично заряджені тіла. Одноїменно заряджені тіла відштовхуються (мал. 16, а), а різноїменно зарядженні тіла — притягуються (мал. 16, б).



Мал. 16. Взаємодія електрично заряджених тіл:
а — відштовхування однойменно заряджених тіл;
б — притягання різноїменно заряджених тіл



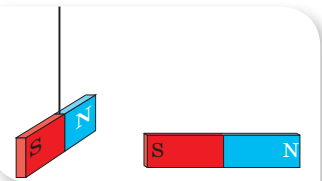
Мал. 17. Неможливо отримати магніт з одним полюсом

На відмінну від електризації, за якої можна отримати окреме позитивно заряджене тіло й окреме негативно заряджене тіло, отримати магніт з одним полюсом неможливо. Як би ми не ділили магніт, найдрібніший його шматочок завжди буде мати два полюси — північний і південний (мал. 17).

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

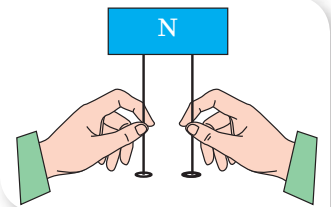
1. У чому схожість і відмінність між електричною взаємодією заряджених тіл і магнітною взаємодією двох магнітів?
2. Дайте визначення полюса магніту.
3. До магніту, закріпленого на підвісі, підносять другий магніт (мал. 18). Як взаємодіятимуть між собою магніти?



Мал. 18

Я змію досліджувати й експериментувати

1. До полюса постійного магніту піднесли два цвяхи (мал. 19). Що станеться, якщо цвяхи відпустити? Перевірте на досліді.
2. Наближайте одну до одної дві магнітні стрілки. Поясніть їхню поведінку. Як встановляться кінці стрілок? Чому саме так?



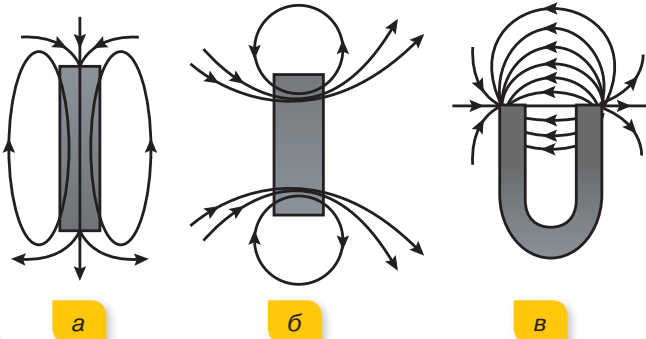
Мал. 19



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

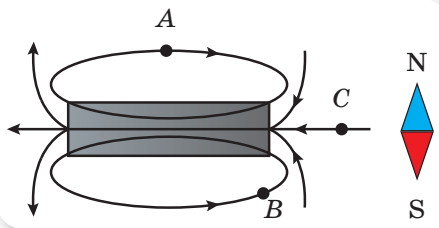
Вправа 1

1. За зображеними на малюнку 20 лініями індукції магнітного поля постійних магнітів установіть їхні магнітні полюси.

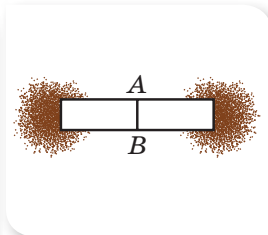


Мал. 20

2. На малюнку 21 зображено магніт і магнітну стрілку (вид згори). За напрямком силових ліній позначте полюси магніту. Як буде розташовуватися магнітна стрілка, якщо її помістити в точках A , B , C ?
3. Середина магніту (мал. 22) не притягує залізні ошурки. Чи будуть притягувати ошурки половинки магніту, якщо його розламати по лінії AB ?

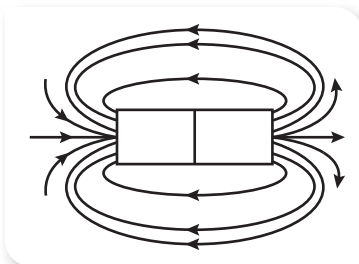


Мал. 21



Мал. 22

4. На малюнку 23 показано силові лінії смугового магніту. Як направлені силові лінії всередині магніту?



Мал. 23

§ 5

Магнітне поле Землі

Магнітне поле Землі. Ще в глибоку давнину було встановлено, що магнітна стрілка, яка може вільно обертатися навколо вертикальної осі, завжди встановлюється в даній місцевості в певному напрямку. Цей факт спостерігали в усіх подорожах по суходолу, морях та океанах земної кулі. Він є підтвердженням того, що навколо Землі існує магнітне поле, а магнітна стрілка встановлюється вздовж його силових ліній.

На малюнку 24 схематично показано лінії індукції магнітного поля Землі. З малюнка зрозуміло, що поблизу Північного географічного полюса міститься Південний магнітний полюс, у який входять магнітні силові лінії, а поблизу Південного географічного полюса — Північний магнітний полюс, з якого силові лінії магнітного поля виходять.

У наш час Південний магнітний полюс віддалений від Північного географічного полюса приблизно на 2100 км, а магнітна вісь становить кут $11^{\circ}53'$ з віссю обертання Землі (земною віссю) (мал. 25).

Учені-геофізики навчилися визначати, яким було магнітне поле Землі тисячі й мільйони років тому. Багатьом гірським породам властиво зберігати незмінним напрямком власного магнітного поля, утвореного під дією магнітного поля Землі. Знаючи вік породи, можна виявити напрямком магнітного поля Землі під час формування магнітного поля цієї породи. Дослідження таких гірських порід показали, що магнітні полюси, а разом з ними і все магнітне поле Землі, із часом переміщуються, причому це переміщення є досить складним. Більш того, учені виявили, що за кілька мільйонів років магнітні полюси Землі «мінялися місцями» сім разів! Причому останній раз це сталося приблизно десять тисяч років тому й відбувся цей процес за фантастично короткий термін — декілька десятків років. Для Землі (йї понад чотири мільярди років) — це коротка мить. Зміну напрямку магнітного поля Землі можна пояснити тим, що в ядрі земної кулі, що містить розплавлені метали, циркулюють потужні електричні струми, і напрямком магнітного поля Землі визначається напрямком цих струмів, який із часом змінюється.

Ви дізнаєтесь

- Де розташовані магнітні полюси Землі
- Які явища пояснюються існуванням магнітного поля Землі

Пригадайте

- Як спрямовані лінії магнітного поля
- Які магніти називають постійними



Мал. 24. Магнітне поле Землі



Мал. 25. Оптичні прояви полярного сяйва



Мал. 26. Причина виникнення полярного сяйва (космічні промені)

Магнітне поле Землі надійно захищає її поверхню від космічного випромінювання, яке згубно діє на живі організми.

Дивовижне природне явище — полярне сяйво (мал. 25) — це оптичне й магнітне явище одночасно. Полярне сяйво виникає тому, що заряджені частинки, з яких складаються космічні промені (мал. 26), проникають в атмосферу Землі й унаслідок дії магнітного поля Землі спрямовуються до Південного магнітного полюса. Ці заряджені частинки взаємодіють із частинками атмосфери, що і зумовлює світіння. Подібне явище спостерігається й біля Південного географічного полюса.

Магнітні бурі. Іноді в магнітному полі Землі виникають короточасні зміни, які називають магнітними бурями. Магнітні бурі впливають на показання компасів, роботу радіотехніки, самопочуття людей і тварин, викликають полярне сяйво в незвичних місцевостях.

Спостереження за Сонцем допомогли зрозуміти, що поява магнітних бур пов'язана з так званою сонячною активністю. Як виявилось, у періоди сонячної активності з поверхні Сонця в космічний простір викидаються потоки за-

ряджених мікрочастинок (електронів і протонів). Потоки цих частинок утворюють магнітне поле, яке викликає локальні короточасні зміни в магнітному полі Землі, тобто магнітні збурення.

Магнітні аномалії. На земній поверхні виявлено області, у яких напрямок магнітної стрілки постійно відрізняється від напрямку силових ліній магнітного поля Землі. Такі області називають областями магнітної аномалії (від латинського слова аномалія — «відхилення», «ненормальність»). Такі аномалії пояснюються впливом на магнітне поле Землі магнітних полів покладів залізної руди. В Україні існує кілька зон магнітних аномалій. Так, Криворізько-Кременчуцька аномалія пов'язана з величезними покладами заліза та кременію.

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. Чому можна стверджувати, що Земля — величезний магніт?
2. Як розташовані магнітні полюси Землі відносно географічних?
3. Чому виникають магнітні бурі?
4. Що таке магнітна аномалія? Чому в області магнітної аномалії покази компаса неправильні?
5. Чому зміни в магнітному полі Землі впливають на самопочуття людини і тварин?



Я змію досліджувати й експериментувати

Розгляньте малюнок 27. Поясніть, як було виготовлено запропоновані саморобні компаси. Запропонуйте власний спосіб виготовлення компаса.



Мал. 27. Саморобні компаси

§ 6

Магнітне поле провідника зі струмом

Дослідження магнітного поля прямолінійного провідника зі струмом. У попередніх параграфах ми вивчали магнітні поля постійних магнітів і планети Земля, які є наслідком циркуляції внутрішніх електричних струмів. Але відповідь на запитання, як змінюється магнітне поле зі зміною сили струму та його напрямку, ми ще не можемо дати. Чи є ще якісь причини, що визначають інтенсивність і напрямок магнітної взаємодії? Для з'ясування цього звернемось до лабораторних дослідів, які можна виконати в кабінеті фізики, і на деякий час станемо дослідниками. Нам буде потрібне обладнання: джерело струму, вимикач, реостат, досліджуваний провідник і магнітна стрілка (мал. 28).

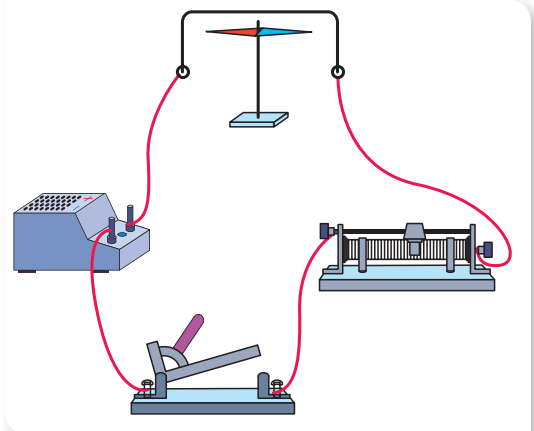
З'ясуємо, чи залежить магнітна дія провідника зі струмом від відстані між провідником і магнітною стрілкою. Замкнемо електричне коло, не змінюючи сили струму в колі (повзунок реостата в центральному положенні). Якщо розміщувати магнітну стрілку (індикатор для дослідження магнітного поля) на різних відстанях від провідника зі струмом, то виявиться, що зі збільшенням цієї відстані магнітна взаємодія слабшає, і навпаки: що меншою є відстань до провідника зі струмом, то магнітне поле сильніше діє на стрілку.

Ви дізнаєтесь

- Як досліджувати магнітне поле провідника зі струмом

Пригадайте

- Дослід Ерстеда

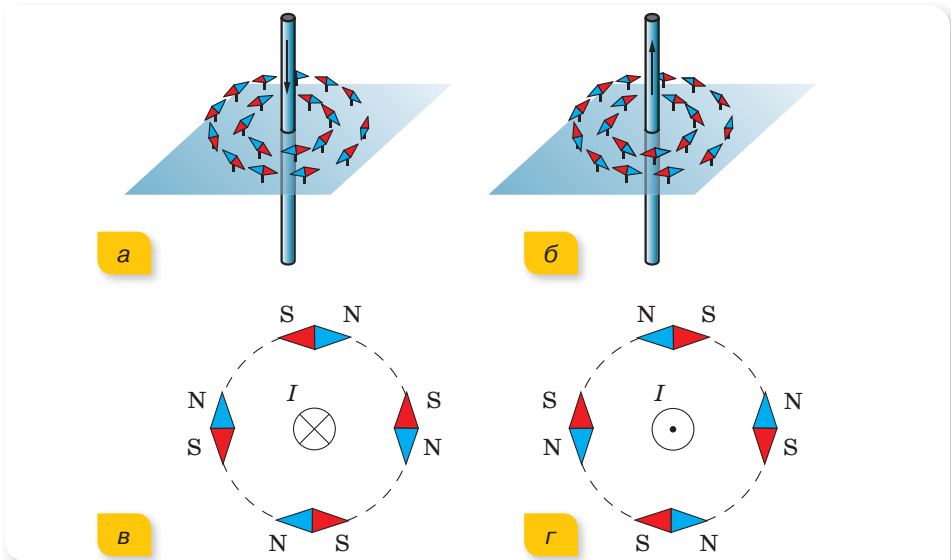


Мал. 28. Дослідження магнітного поля прямолінійного провідника зі струмом

З'ясуємо, чи залежить магнітна дія провідника зі струмом від сили струму в ньому. Установимо магнітну стрілку на такій відстані від провідника зі струмом, щоб дія його магнітного поля на стрілку була незначною. Збільшимо силу струму в провіднику, пересунувши для цього повзунок реостата праворуч. Спостерігатимемо, що взаємодія провідника зі струмом і магнітної стрілки стає помітнішою не лише в точці, де була попередньо розміщена стрілка, а й на більшій відстані від провідника.

Отже, підсилення дії магнітного поля провідника зі струмом на магнітну стрілку можна досягти, зменшуючи відстань до провідника зі струмом та/або збільшуючи силу струму в ньому.

З'ясуємо, чи залежить магнітна дія провідника зі струмом від напрямку електричного струму в ньому. Для цього дещо змінимо умови досліду. Протягнемо досліджуваний провідник крізь отвір в аркуші картону, на якому розміщені маленькі магнітні стрілочки на підставках. Пропустимо по провіднику електричний струм. Під дією магнітного поля провідника зі струмом осі магнітних стрілочок розмістяться в певному напрямку (мал. 29, а, б).



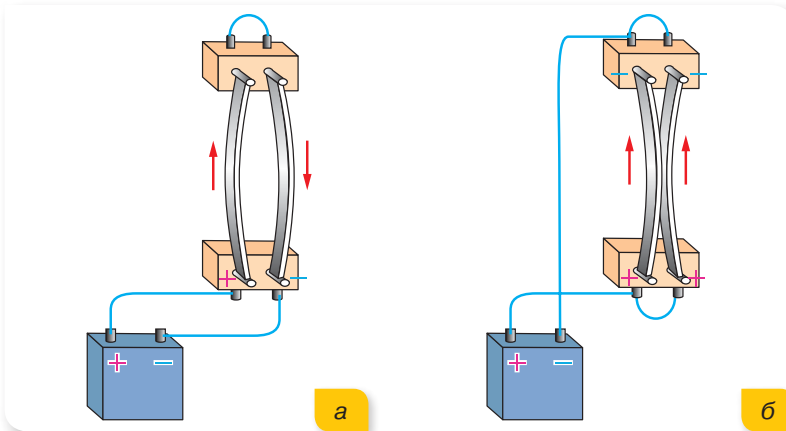
Мал. 29. Залежність напрямку силових ліній магнітного поля від напрямку струму в прямолінійному провіднику

На малюнку 29, в, г показано розміщення магнітних стрілок навколо провідника зі струмом при спостереженні за стрілочками зверху. На малюнку 29, в ми бачимо поперечний переріз провідника, у якому струм спрямований від нас, що умовно позначено хрестиком у кружечку.

Після зміни напрямку струму в провіднику на протилежний магнітні стрілочка розвернуться на 180° (у цьому разі струм у провіднику спрямований до нас, що умовно позначено кружечком із крапкою посередині) (мал. 29, г).

Із цього дослідів можна зробити висновок, що *напрямок магнітних ліній залежить від напрямку струму в провіднику*.

З'ясуємо, як буде проявлятися магнітна взаємодія двох паралельних гнучких провідників зі струмом. Якщо електричний струм в обох провідниках збігатиметься за напрямком, то провідники притягуватимуться (мал. 30, а). У випадку проходження струмів протилежного напрямку (мал. 30, б) провідники будуть відштовхуватись один від одного з певною силою.



Мал. 30. Магнітна взаємодія: а — паралельних провідників, по яким проходять струми в однакових напрямках; б — паралельних провідників зі струмами протилежних напрямків

Історична довідка. Взаємодію двох провідників зі струмом вперше продемонстрував Андре Марі Ампер через тиждень після того, як вперше почув про дослід Ганса Крістіана Ерстеда.

Виявилось, що інтенсивність взаємодії залежить від довжини провідників, відстані між ними, середовища, у якому вони розміщені, та від сили струму в провідниках. У результаті саме цього дослідів було дано визначення одиниці сили струму: один ампер (1 А) — сила струму, який, протікаючи у двох паралельних тонких провідниках нескінченної довжини, що розміщені у вакуумі на відстані 1 м один від одного, викликає на кожній ділянці провідників довжиною 1 м силу взаємодії $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

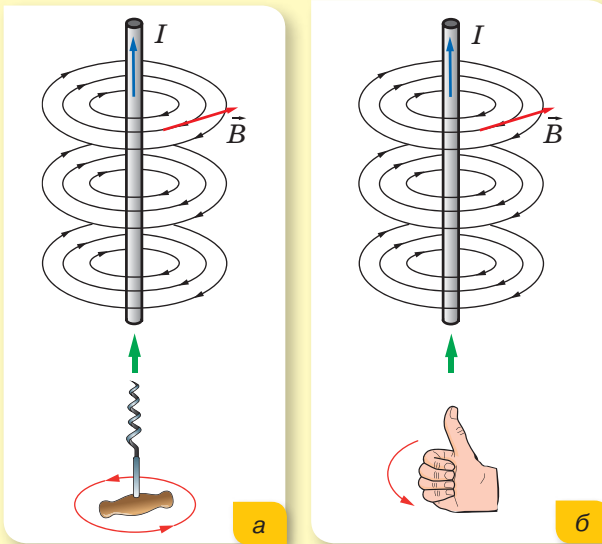
Правила для визначення напрямку ліній індукції магнітного поля.

Із попередніх дослідів нам відомо, що напрямок ліній індукції магнітного поля можна визначити за допомогою магнітних стрілок. За відсутності магнітних стрілок для визначення напрямку ліній індукції магнітного поля й самого вектора магнітної індукції є кілька правил, зокрема правило свердлика (правого гвинта) та правило правої руки.

Правило свердлика. Якщо поступальний рух свердлика збігається з напрямком струму, то обертання його ручки показує напрямок ліній індукції магнітного поля (мал. 31, а).

Правило правої руки. Якщо прямий провідник охопити чотирма пальцями правої руки так, щоб великий палець, розміщений уздовж провідника, вказував напрямок струму, то чотири зігнуті пальці вкажуть напрямок ліній індукції магнітного поля (мал. 31, б).

Оскільки лінії індукції магнітного поля є замкнутими кривими, то вектор індукції в певній точці магнітного поля напрямлений уздовж дотичної до силових ліній магнітного поля в цій точці (мал. 31, а, б).



Мал. 31. Визначення напрямку ліній індукції магнітного поля прямого струму: а — за правилом свердлика; б — за правилом правої руки

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

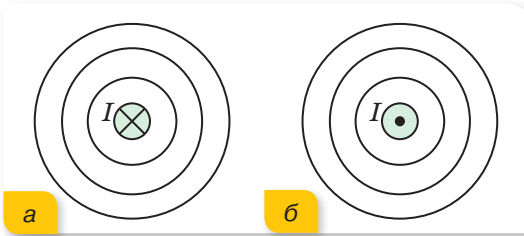
1. Як виявити магнітну дію провідника зі струмом? Від яких величин залежить магнітна дія провідника зі струмом?
2. Як розміщуються заліzni ошурки в магнітному полі прямолінійного провідника, по якому проходить струм? Який висновок можна із цього зробити?
3. Як взаємодіють два провідники зі струмом, по яким проходить струм? Ця взаємодія завжди однакова, чи існують умови, змінюючи які, можна змінювати й взаємодію провідників?
- 4*. Поясніть зміну напрямку магнітної стрілки при її переміщенні в магнітному полі, використовуючи поняття: а) сили; б) енергії.

Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

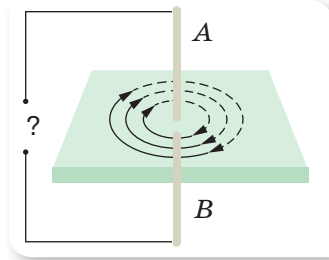
Вправа 2

1. Перемалюйте малюнок 32 у зошит. Застосовуючи відповідні правила, позначте на цих малюнках напрямок ліній індукції магнітних полів.

2. За напрямком ліній індукції магнітного поля встановіть напрямок струму в провіднику AB (мал. 33).

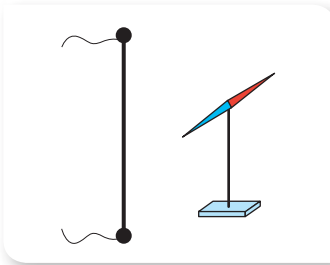


Мал. 32

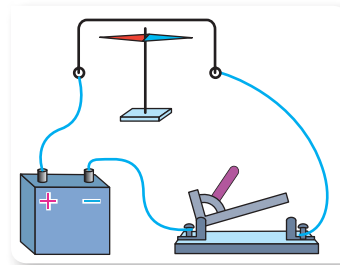


Мал. 33

3. Поблизу провідника зі струмом встановили магнітну стрілку (мал. 34). Як розташується стрілка, якщо струм проходитиме вгору; вниз? Як розташувалась би стрілка, якби її встановили з іншого боку від провідника?
4. Як розташується магнітна стрілка, якщо замкнути ключ (мал. 35)? Як розташується магнітна стрілка, якщо провідник розмістити не над стрілкою, а під нею?

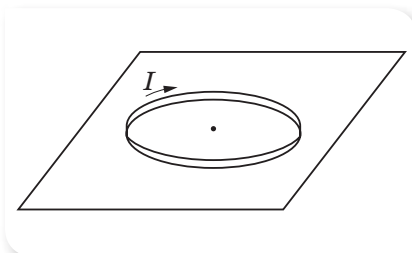


Мал. 34

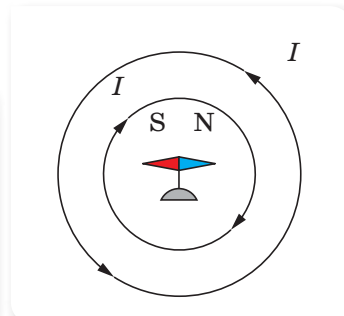


Мал. 35

5. Металевий виток зі струмом розташовано в горизонтальній площині (мал. 36). Який напрямок має вектор індукції магнітного поля в його центрі?
6. Який напрямок укаже північний полюс стрілки, якщо її обтікають струми, напрямки яких позначено на малюнку 37?



Мал. 36



Мал. 37



Я вмію досліджувати й експериментувати

1. Замкнуте електричне коло складається з батарейки та резистора, причому батарейка міститься в одному із чорних ящиків, які стоять на столі, а резистор — в іншому. Як можна, не розмикаючи кола, визначити, у якому ящику міститься батарейка.

Обладнання: два чорні ящики, батарейка, резистор, вольтметр, магнітна стрілка, з'єднувальні провідники.

2. Виготовте пристрій, за допомогою якого можна спостерігати дію магнітного поля на провідник зі струмом. Перевірте його.

Обладнання: металевий провідник, реостат, ключ, джерело струму.

§ 7

Електромагніти

Ви дізнаєтесь

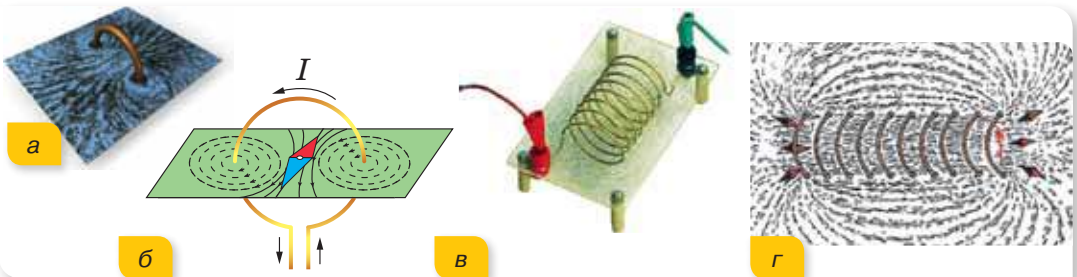
- Як самостійно виготовити електромагніт

Пригадайте

- Що таке постійні магніти
- Як визначати напрямок ліній магнітного поля

Магнітне поле котушки зі струмом. Як було з'ясовано в попередніх параграфах, навколо будь-якого провідника зі струмом існує магнітне поле. За допомогою установки, що зображена на малюнку 38, *а* можна спостерігати магнітне поле витка зі струмом. Якщо замкнути електричне коло, то залізні ошурки, насипані на горизонтальну пластинку, розташуються колами навколо точок перетину витка з пластинкою (мал. 38, *б*). Це пояснюється тим, що виток зі струмом можна уявно поділити на

велику кількість ділянок, кожна з яких можна вважати близькою до прямолінійного провідника зі струмом. Більш потужне магнітне поле можна отримати за допомогою котушки, що складається з великої кількості витків дроту, по якому протікає електричний струм (мал. 38, *в*). У цьому разі магнітні поля окремих витків взаємно підсилюються й результуюче магнітне поле виявляється значно потужнішим. Як видно на малюнку 38, *г*, лінії індукції магнітного поля котушки всередині її витків мають вигляд паралельних прямих, розташованих уздовж осі котушки. Лінії індукції магнітного поля навколо котушки є замкнутими кривими.



Мал. 38. Дослідження магнітного поля витка та котушки зі струмом: *а, в* — установки для спостереження магнітного поля; *б, г* — графічне зображення магнітного поля

Щоб отримати магнітне поле з паралельними магнітними силовими лініями, як кажуть, **однорідне магнітне поле**, застосовують довгі котушки, які отримали назву **соленоїди** (від грец. *solen* — трубка). У такому випадку напрямок магнітних силових ліній і напрямок вектора індукції магнітного поля збігаються.

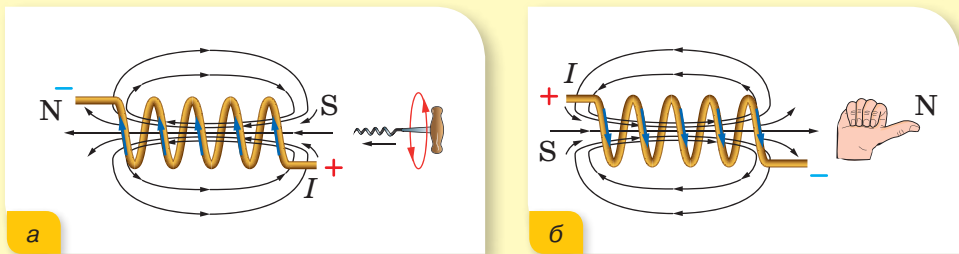
Розгляньте ще раз уважно малюнок 38, з. Що вам нагадує вигляд магнітного поля котушки? Здогадалися? Якщо ні, зверніться до малюнка 7, в у § 2 (с. 12). Магнітне поле котушки зі струмом подібне до магнітного поля плоского постійного магніту. Це підтверджено й дослідями: на кінцях котушки магнітне поле інтенсивніше, тобто котушка зі струмом має два полюси — північний і південний.

У магнітному полі Землі котушка зі струмом поводить себе так само, як і магнітна стрілка. Якщо котушку зі струмом вільно підвісити на достатньо довгих і гнучких провідниках, то вона встановиться таким чином, що один її кінець вказуватиме на північ, а другий — на південь.

Магнітні полюси котушки можна визначити за допомогою магнітної стрілки або знаючи напрямок струму у витках котушки (за правилом свердлика чи правої руки).

Правило свердлика. Якщо ручку свердлика обертати в напрямку струму у витках котушки, то напрямок поступального руху його вістря вказуватиме на північний полюс магнітного поля котушки (мал. 39, а).

Правило правої руки. Якщо праву руку розмістити так, щоб чотири пальці вказували на напрямок струму у витках котушки, то відігнутий великий палець вказуватиме на північний полюс магнітного поля котушки (мал. 39, б).



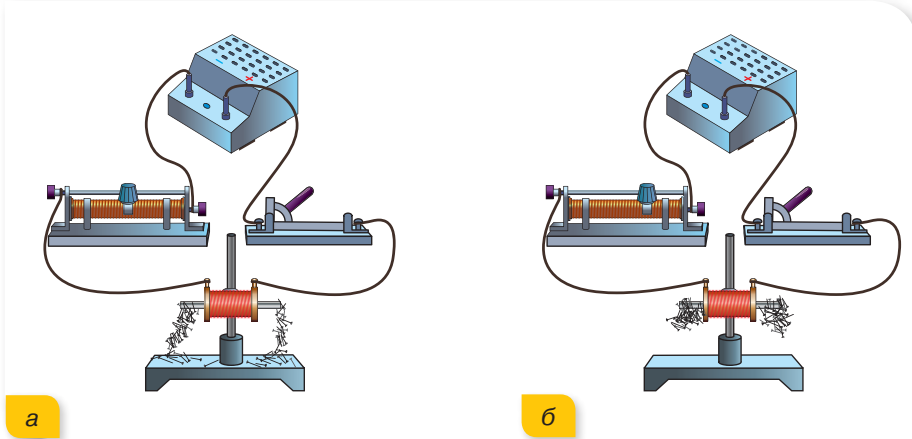
Мал. 39. Визначення полюсів магнітного поля котушки:
а — за допомогою правила свердлика; б — за допомогою правої руки

Поза котушкою силові лінії магнітного поля спрямовані від його північного полюса до південного.

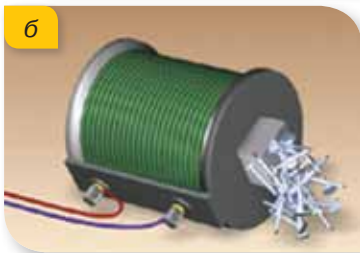
За цими самими правилами можна визначити напрямок струму у витках котушки (полярність її включення), якщо відоме розміщення полюсів її магнітного поля.

Як посилити магнітну дію котушки зі струмом. Можливо, ви вже й самостійно можете зробити такі висновки: щоб підсилити магнітне поле котушки, потрібно збільшити кількість витків та/або збільшити силу струму в її витках. Переконаємось у цьому на дослідах.

Розглянемо електричне коло, яке складається з послідовно з'єднаних джерела струму, котушки, реостата та вимикача (мал. 40). Для виявлення магнітного поля котушки зі струмом використаємо залізні цвяхи. Замкнемо коло. Цвяхи притягнуться до котушки зі струмом унаслідок дії її магнітного поля. За допомогою реостата змінюватимемо силу струму в котушці. При збільшенні сили струму дія магнітного поля котушки зі струмом підсилюється (мал. 40, б). При значному збільшенні значення сили струму побачимо, що цвяхи притягуватимуться до котушки навіть тоді, коли вона перебуватиме на досить значній відстані від них. При зменшенні сили струму в котушці її магнітне поле слабшає.



Мал. 40. Дослідження магнітної дії котушки залежно від сили струму в її витках



А чи існує спосіб посилення магнітного поля котушки зі струмом без збільшення сили струму й кількості витків? Як виявилось, магнітне поле котушки при сталій силі струму в ній можна значно підсилити, якщо помістити в неї залізне осердя. Розглянемо котушку зі струмом, до якої притягуються залізні цвяхи (мал. 41, а). Не змінюючи силу струму у витках котушки, помістимо в неї залізне осердя (мал. 41, б). Помітимо, що до котушки з осердя значно інтенсивніше притягуються цвяхи. Отже, завдяки наяв-

Мал. 41. Дослідження магнітної дії котушки залежно від наявності залізного осердя

ності осердя дія магнітного поля котушки зі струмом збільшилася. (Спробуйте пояснити цю властивість самостійно. Для цього ще раз зверніться до § 3.)

Електромагніти. Котушку із залізним осердям усередині називають *електромагнітом*.

Найпростіший електромагніт можна виготовити, намотавши кілька витків ізолюваного дроту на залізний цвях (гвинт). Якщо кінці провідника приєднати до гальванічного елемента, то виготовлений вами електромагніт почне притягувати маленькі металеві предмети, наприклад скріпки (мал. 42, а).

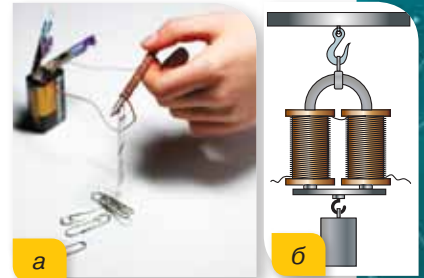
Для збільшення притягальної дії електромагнітів використовують дві котушки, які під'єднують до джерела струму послідовно й закріплюють на U-подібному осерді (мал. 42, б).

У техніці та на виробництві широко використовують промислові електромагніти (мал. 43).

Речовини, що намагнічуються в зовнішньому магнітному полі й підсилюють його, поділяються на магнітотверді та магнітом'які матеріали. Магнітотверді матеріали використовуються для виготовлення постійних магнітів. Такі матеріали довго зберігають стан намагніченості навіть після припинення дії зовнішнього магнітного поля.

Осердя промислових електромагнітів виготовляють з магнітом'яких матеріалів. Котушки таких магнітів виготовляють з великою кількістю витків, намотуючи їх у декілька шарів. Електромагніти з осердям з магнітом'яких матеріалів знайшли широке застосування, оскільки швидко розмагнічуються при вимиканні струму, а їх магнітну дію можна легко регулювати, змінюючи силу струму в котушці. Електромагніти з великою підйомною силою використовують для перенесення залізних виробів та брухту чорних металів.

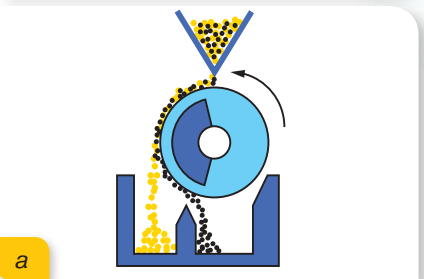
Електромагніти використовують не лише для перенесення металобрухту. У магнітному сепараторі (мал. 44) електромагніт використовують для очищення зерна від насіння



Мал. 42. Електромагніти:
а — саморобний електромагніт;
б — модель електромагніту підсиленої дії



Мал. 43.
Промислові електромагніти



Мал. 44. Магнітний сепаратор:
а — схематичне зображення;
б — зовнішній вигляд

бур'янів. Для цього в зерно додають дрібні залізні ошурки, які не прилипають до гладенької поверхні зерна, але прилипають до насіння бур'янів. З бункера зерно потрапляє на барабан, усередині якого є електромагніт. Коли барабан обертається, насіння бур'янів разом із залізними ошурками притягуються до нього, а зерно — ні. Завдяки цьому й відбувається очищення зерна.

Електромагніти є основними складовими частинами електромагнітних реле, які працюють при порівняно малих струмах, але дозволяють автоматично замикати та розмикати електричні кола з великими робочими значеннями сили струму.



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

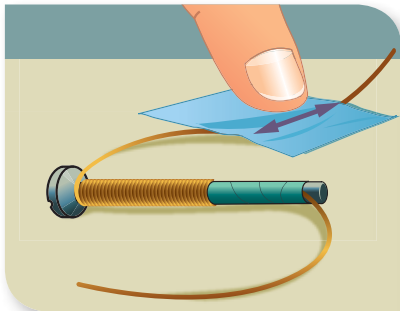
1. Як визначають напрямок магнітного поля всередині колового провідника зі струмом? Котушки зі струмом? Як змінити напрямок магнітного поля колового провідника або котушки зі струмом на протилежний?
2. Чим відрізняється магнітне поле всередині котушки зі струмом від магнітного поля одного витка за всіх інших однакових умов?
3. Назвіть способи зміни величини індукції магнітного поля котушки зі струмом.
4. Що називають електромагнітами? Назвіть основні властивості електромагнітів. Наведіть приклади використання електромагнітів.
5. Чому при виготовленні електромагнітів на осердя потрібно намотувати ізольований провід?



Я змію досліджувати й експериментувати

Виготовити електромагніт можна і в домашніх умовах (мал. 45). Для цього нам знадобляться: залізний цвях (довжиною 7–10 см); ізольований мідний дріт (товщиною 1 мм); наждачний папір; ізоляційна стрічка; батарейка.

Намотайте мідний дріт на цвях. Зверніть увагу на те, щоб кожний наступний виток щільно прилягав до попереднього. Намотати дріт потрібно так, щоб залишилися вільні кінці. Для того щоб дріт не розмотувався, закріпіть його ізоляційною стрічкою. Далі за допомогою наждачного паперу зніміть ізоляцію з кінців дроту. З'єднайте зачищені кінці дроту з полюсами батареї. Після цього ваш електромагніт буде притягувати маленькі металеві предмети.



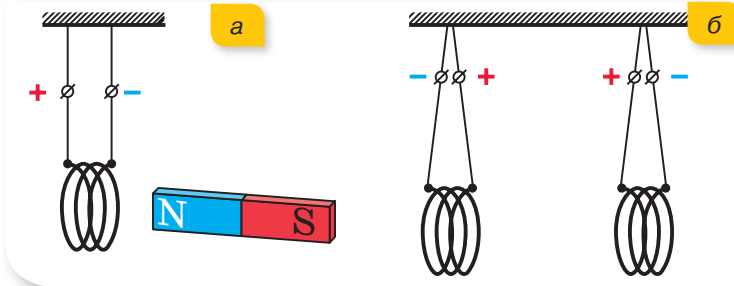
Мал. 45. Саморобний електромагніт



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

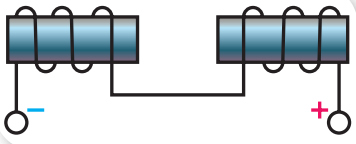
Вправа 3

1. Як буде поводитись котушка, якщо до неї наблизити постійний магніт (мал. 46, а)? Якою буде взаємодія двох котушок зі струмом (мал. 46, б)?

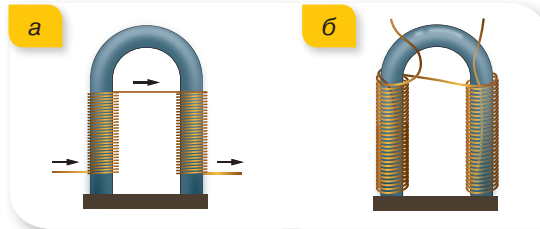


Мал. 46

2. Напрямок струму в обмотках електромагнітів визначте за даними малюнку 47. Відобразіть цей малюнок у зошиті. Позначте полюси магнітів. Намалюйте кілька ліній магнітної індукції біля обох магнітів і в просторі між ними.
3. Електромагніт має дві обмотки. Чи залежить ефективність електромагніту від способу з'єднання обмоток (мал. 48, а, б)?

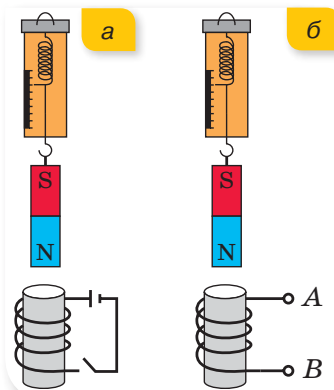


Мал. 47



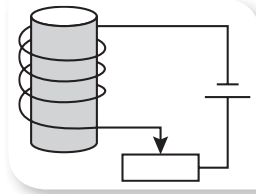
Мал. 48

4. Як зміняться покази динамометра, якщо замкнуте електричне коло (мал. 49, а)? Укажіть, до яких полюсів джерела струму під'єднані провідники А і В, якщо при проходженні по ним електричного струму покази динамометра зменшуються (мал. 49, б).



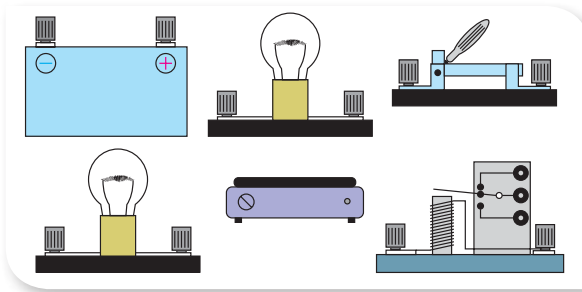
Мал. 49

5. Чи можна так намотати обмотку, щоб у разі проходження електричного струму магнітне поле було відсутнє? Проілюструйте свою відповідь.
6. Установіть полюси електромагніту (мал. 50). Як зміниться підйомна сила електромагніту, якщо повзунок реостата перемістити ліворуч?



Мал. 50

7. Намалюйте схему електричного кола, у якому під час замикання ключа буде вмикатись електрична плитка, а під час розмикання — електричні лампи (мал. 51).



Мал. 51



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Складання та випробування електромагніту

Мета роботи: навчитися складати прямий і дугоподібний електромагніт з готових деталей та перевірити залежність його дії від кількості витків і сили струму в котушці.

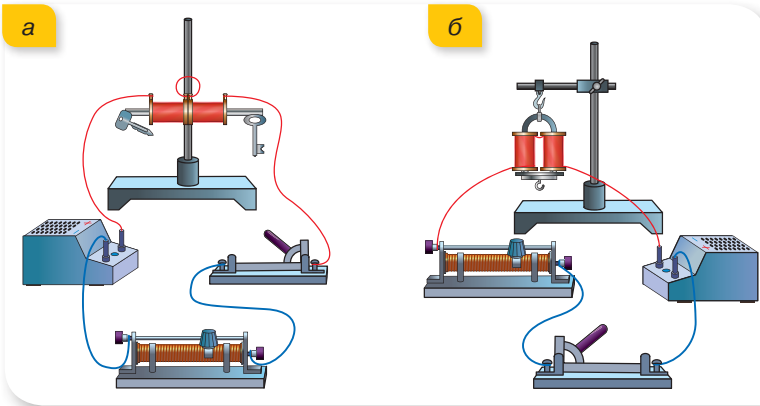
Прилади та матеріали: штативи універсальні, джерело живлення (батарея хімічних елементів), реостат, амперметр, вимикач, з'єднувальні провідники, компас, деталі для складання електромагніту (пряме й П-подібне осердя, дві котушки, якір з гачком), набір тягарців і гир (до 10 кг), м'яка підстилка або деко з піском.

Вказівки щодо виконання роботи

1. Складіть електричне коло, з'єднавши послідовно батарею, реостат (повзунок у центральному положенні), амперметр, вимикач та одну котушку, надіту на пряме осердя, закріплене у штативі.
2. Замкніть коло й за допомогою компаса визначте магнітні полюси котушки.
3. Підвішуючи тягарці, визначте, яку масу вантажу утримує електромагніт з однією котушкою. Увага! Для виконання досліду під електро-

магнітом установіть деко з піском або постеліть м'яку тканину, щоб не зіпсувати поверхню парти, якщо електромагніт не утримає тягарці.

4. За допомогою реостата збільшуйте силу струму в колі до максимальної. Виявіть й опишіть, як змінилася притягальна дія магніту.
5. Складіть електромагніт із двох котушок (мал. 52, а), надітих на пряме осердя. Котушки з'єднайте послідовно (щоб на їх вільних кінцях утворилися різнойменні полюси). Перевірте полюси за допомогою компаса.



Мал. 52

6. Перемістіть повзунок реостата в центральне положення. Замкніть коло й визначте, вантаж якої маси утримує прямий електромагніт із двох котушок. За допомогою реостата збільшуйте силу струму в колі до максимальної. Виявіть й опишіть, як змінилася притягальна дія магніту.
7. Складіть підковоподібний електромагніт, надівши послідовно з'єднані котушки на осердя у вигляді букви П так, щоб на вільних її кінцях були різнойменні полюси (мал. 52, б).
8. Перемістіть повзунок на реостаті в центральне положення. Замкніть коло й визначте, вантаж якої маси утримує підковоподібний електромагніт.
9. За допомогою реостата збільшуйте силу струму в колі до максимальної. Виявіть й опишіть, як змінилася притягальна дія магніту.
10. Дані, отримані в ході виконання завдань, запишіть у таблицю.

Вид електромагніту	Маса вантажу, г	Маса вантажу, г (при максимально можливій силі струму)
Прямий з однією котушкою		
Прямий із двома котушками		
Підковоподібний		

11. Зробіть висновки.

§ 8

Дія магнітного поля на провідник зі струмом.

Сила Ампера

Ви дізнаєтесь

- Як взаємодіють між собою магнітні поля

Пригадайте

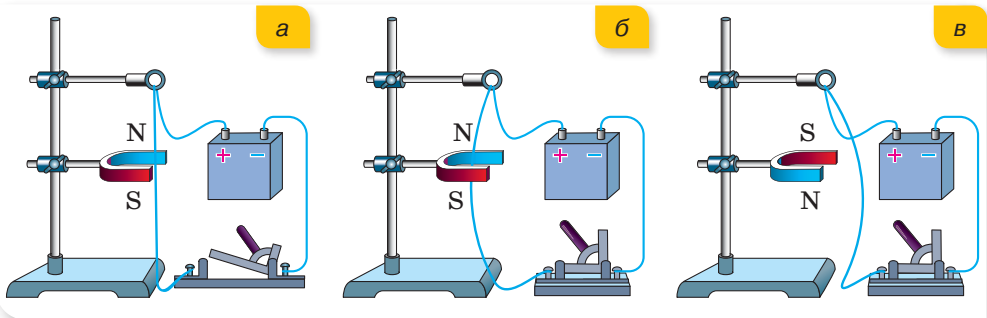
- Взаємодію двох провідників зі струмом

Дія магнітного поля на провідник зі струмом.

Ми з'ясували, що магнітне поле, створене провідником зі струмом, діє на магнітну стрілку (магніт). Виявляється, що магнітне поле постійного магніту, розташованого поблизу провідника зі струмом, діє на провідник. Дослідимо характер цієї взаємодії.

Закріпимо провідник на штативі. Розташуємо провідник між полюсами постійного підковоподібного магніту та замкнемо коло, що складається із джерела струму, провідників і вимикача (мал. 53).

Якщо замкнути коло, провідник почне рухатися (у випадку, зображеному на малюнку 53, б, — втягуватись до підковоподібного магніту). Якщо вимкнути струм, провідник повернеться в початкове положення (мал. 53, а).



Мал. 53. Дослідження дії магнітного поля на провідник зі струмом

Якщо поміняти напрямок магнітного поля (положення полюсів магніту) на протилежний (мал. 53, в), провідник у магнітному полі підковоподібного магніту буде рухатися у протилежний бік. Напрямок руху провідника зміниться на протилежний і у випадку зміни напрямку струму в провіднику.

Сила Ампера. Рух провідника пояснюється взаємодією двох полів: магнітного поля, що створюється струмом, і поля постійного магніту. Французький фізик Андре Марі Ампер був першим, хто дослідив таку взаємодію та взаємодію двох провідників зі струмом.

Силу, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом, називають **силою Ампера**.

Сила Ампера, що діє на провідник у магнітному полі, тим більша, що більший струм проходить провідником й що сильнішим є магнітне поле, у якому він розміщений. Також сила Ампера залежить від довжини провідника зі струмом і його розташування в магнітному полі. До речі, ділянку магнітного поля між полюсами магніту можна вважати однорідним магнітним полем, силові лінії якого паралельні.

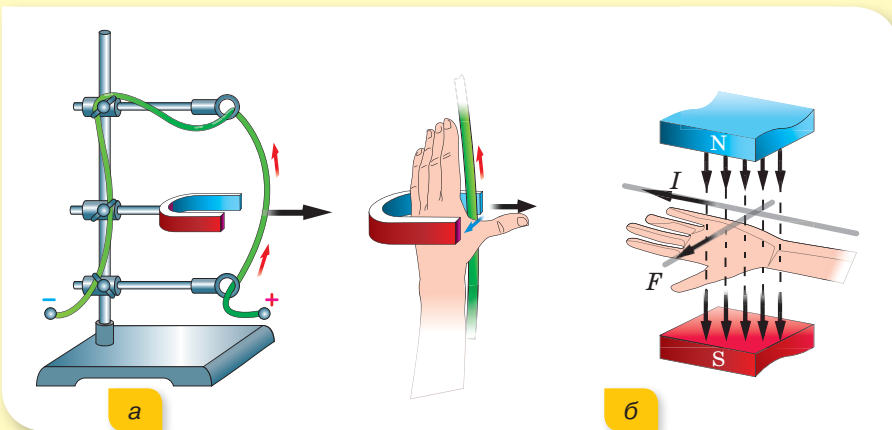
Напрямок дії магнітного поля на провідник зі струмом, тобто напрямок сили Ампера, зумовлений як напрямком струму в провіднику, так і напрямком вектора індукції магнітного поля, у якому він розміщений.

Нагадуємо, що для опису інтенсивності магнітного поля (або його силової дії), застосовують фізичну величину — індукцію магнітного поля \vec{B} . Індукція магнітного поля — векторна величина, і у випадку однорідного магнітного поля напрямки вектора індукції магнітного поля та його силових ліній збігаються.

За одиницю магнітної індукції в СІ беруть магнітну індукцію такого поля, у якому на провідник довжиною 1 м, у якому протікає струм силою 1 А, з боку магнітного поля діє максимальна сила 1 Н. Цю одиницю називають *тесла* (Тл), $1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}$.

1 Тл — дуже велика одиниця. Індукція магнітного поля Землі приблизно дорівнює $0,5 \cdot 10^{-4}$ Тл. Великий лабораторний електромагніт може створити поле з індукцією не більш ніж 5 Тл.

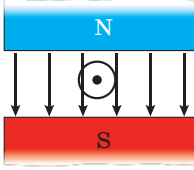
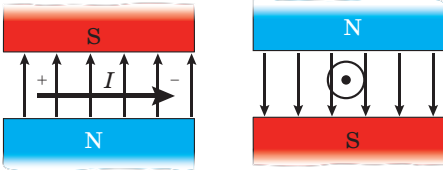
Для визначення напрямку сили Ампера використовують **правило лівої руки**: якщо ліву руку розташувати таким чином, щоб лінії індукції магнітного поля входили в долоню (долонею до північного полюсу постійного магніту), а чотири пальці вказували напрямок струму в провіднику, то великий палець, відігнутий на 90° , укаже напрямок сили, яка діє на провідник зі струмом з боку магнітного поля (сили Ампера) (мал. 54).



Мал. 54. Визначення напрямку сили Ампера за правилом лівої руки

Формула для визначення модуля сили Ампера має вигляд:

$F_A = BI\Delta l \sin \alpha$, тут α — кут між напрямком струму I в провіднику та вектором індукції магнітного поля \vec{B} , Δl — довжина ділянки провідника, що перебуває в однорідному магнітному полі.



Мал. 55. Провідник зі струмом розташований перпендикулярно до ліній індукції магнітного поля. Сила Ампера в цьому разі є максимальною

На малюнку 55 показано випадки, коли провідник розташований перпендикулярно до ліній індукції магнітного поля. У цьому разі сила Ампера має максимальне значення $F_{A \max} = BI\Delta l$ (адже кут між напрямком струму I в провіднику та вектором індукції магнітного поля дорівнює 90° , а $\sin 90^\circ = 1$).

У кожній точці магнітного поля можна визначити напрямок вектора магнітної індукції та його модуль вимірюванням сили Ампера, що діє на ділянку провідника зі струмом.

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Якою є одиниця магнітної індукції в СИ? Сформулюйте визначення цієї одиниці.
2. Поясніть, чому два прямолінійні провідники, по яким проходять струми в протилежних напрямках, — відштовхуються?
3. Чому виникає сила Ампера? Від чого залежить напрямок сили Ампера? За якою формулою визначають силу Ампера?
- 4*. Якщо сила Ампера діє в магнітному полі на провідник зі струмом, тобто на провідник, у якому рухаються електрично заряджені частинки, то чи діє подібна сила на окрему електрично заряджену частинку, що рухається в магнітному полі?

Вчимося розв'язувати задачі

Задача. Визначте модуль сили Ампера, що діє на провідник зі струмом завдовжки 25 см у магнітному полі з індукцією 0,04 Тл, якщо кут між вектором магнітної індукції й напрямком струму становить 30° . Сила струму в провіднику дорівнює 0,25 А.

Дано:

$$\Delta l = 25 \text{ см} = 0,25 \text{ м}$$

$$B = 0,04 \text{ Тл}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$I = 0,25 \text{ А}$$

$$F_A = ?$$

Розв'язання:

На провідник зі струмом у магнітному полі діє сила

$$F_A = BI\Delta l \sin \alpha.$$

Підставимо значення всіх величин, враховуючи, що $\sin 30^\circ = 0,5$ (див. на форзаці таблицю значень синусів і тангенсів для кутів $0-90^\circ$).

$$F_A = 0,04 \text{ Тл} \cdot 0,25 \text{ А} \cdot 0,25 \text{ м} \cdot 0,5 = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ Н}.$$

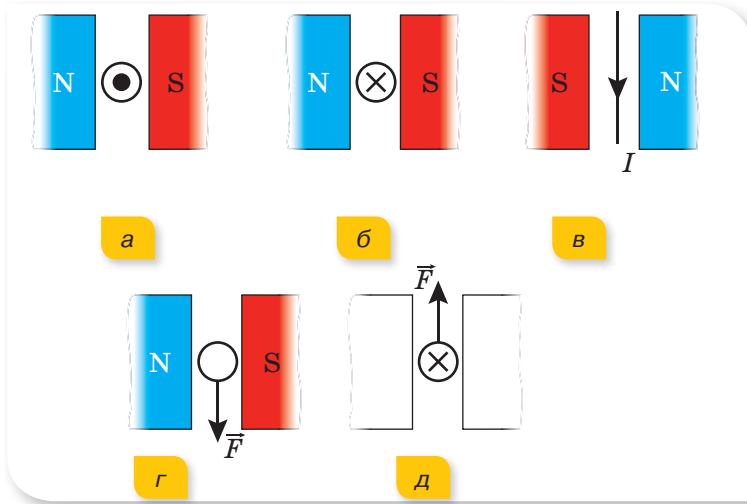
Відповідь: $F_A = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$.



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

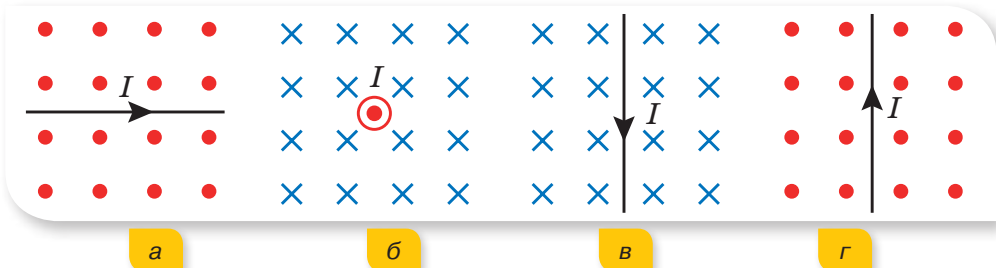
Вправа 4

1. На малюнку 56 зображено випадки взаємодії магнітного поля постійного магніту з провідником зі струмом. Перемалюйте малюнок у зошит і позначте: у випадках *a–b* — напрямок сили ампера; у випадку *г* — напрямок струму в провіднику; у випадку *д* — полюси постійного магніту.



Мал. 56

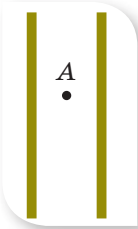
2. На малюнку 57 зображено магнітне поле, силові лінії якого перпендикулярні до площини сторінки підручника (хрестики — поле, спрямоване від нас; кружечки — до нас). Визначте напрямок дії сили Ампера. У якому випадку магнітне поле не діє на провідник зі струмом?



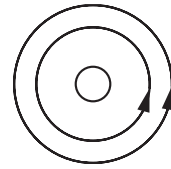
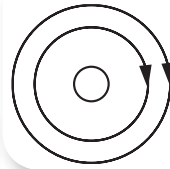
Мал. 57

3. По паралельних провідниках (мал. 58, с. 38) протікають струми однакової сили. У якому випадку в точці *A* буде відсутнє магнітне поле?

4. На малюнку 59 зображені силові лінії магнітних полів двох провідників зі струмом. Перемалюйте малюнок у зошит. Позначте напрямок струму в провідниках. Притягаються чи відштовхуються ці провідники?

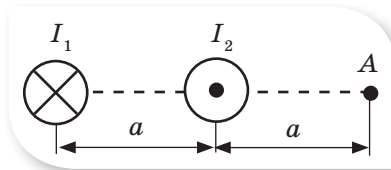


Мал. 58



Мал. 59

5. Два прямолінійні провідники містяться в площині, що пронизує аркуш підручника (мал. 66). Сила струму в провідниках однакова. Напрямок струму в провідниках протилежний. Відстань між провідниками a . Зобразіть графічно напрямок сумарного магнітного поля в т. A , що віддалена від першого провідника на відстань $2a$, а від другого провідника на відстань a .



Мал. 60

6. Визначте індукцію магнітного поля, якщо в ньому на провідник, по якому проходить струм силою 25 А, діє сила Ампера величиною 50 мН. Довжина активної частини провідника — 5 см. Провідник розташовано перпендикулярно до силових ліній магнітного поля.
7. З якою силою діє магнітне поле з індукцією 10 мТл на провідник, якщо сила струму в ньому 50 А, а довжина активної частини провідника 0,1 м? Провідник розташовано перпендикулярно до силових ліній магнітного поля.
8. На провідник завдовжки 0,8 м, що міститься в однорідному магнітному полі перпендикулярно до силових ліній, діє сила 5 Н, за умови, що по провіднику проходить струм силою 5 А. Визначте магнітну індукцію поля.
9. Прямий провідник завдовжки 10 см, по якому проходить струм 0,5 А, розміщений в однорідному магнітному полі перпендикулярно до силових ліній. Визначте індукцію магнітного поля, якщо воно діє на провідник із силою 2,6 мН.
10. Прямолінійний провідник завдовжки 0,2 м перебуває в магнітному полі, індукція якого 4 Тл під кутом 30° до ліній індукції. Визначте модуль сили Ампера, що діє на провідник, якщо сила струму в ньому 2 А.
11. Провідник завдовжки 20 см, по якому проходить струм силою 50 А, міститься в однорідному магнітному полі з індукцією 40 мТл. Яку роботу виконує джерело струму, якщо провідник перемістився на 10 см перпендикулярно до ліній магнітної індукції?

§ 9

Електродвигуни

Дія магнітного поля на рамку зі струмом. Як ви дізналися з попереднього параграфа, провідник зі струмом у полі підковоподібного магніту або виштовхується назовні, або втягується всередину під дією сили Ампера. Виготовимо з провідника прямокутну рамку $ABCD$ й розташуємо її всередині підковоподібного магніту (мал. 61). Сторони AB та CD рамки є провідниками, на які діє сила Ампера. Ці провідники мають однакову довжину, і по них проходить струм однакової величини у протилежних напрямках. Тому на сторони рамки діють сили, однакові за величиною та протилежні за напрямком. Під дією цих сил рамка зі струмом повертається в магнітному полі, прагнучи розташуватися перпендикулярно до його силових ліній. Якщо змінити полярність джерела струму, до якого під'єднано рамку, або поміняти місцями полюси магніту, рамка повертатиметься у протилежному напрямку.

Особливості дії магнітного поля на рамку зі струмом використовують при виготовленні електровимірвальних приладів та електродвигунів.

Електродвигун постійного струму. Як досягти постійного обертання в одному напрямку рамки зі струмом у зовнішньому магнітному полі? При пропусканні через рамку струму вона повертається, намагаючись розташуватися перпендикулярно до силових ліній зовнішнього магнітного поля. Щоб рамка продовжила обертання в тому самому напрямку, потрібно поміняти місцями полюси зовнішнього магнітного поля або напрямок струму в провіднику. Отже, щоб від повертання рамки зі струмом у магнітному полі перейти до постійного обертання, потрібно через кожен півоберт рамки змінювати напрямок струму в ній на протилежний.

Розглянемо прилад, який складається з рамки $ABCD$, закріпленої вертикально (мал. 62).

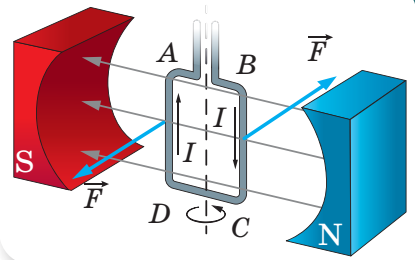
На рамку $ABCD$ намотано невелику кількість витків ізольованого дроту. Кінці обмотки приєднані до двох півкілець (1, 2), які притискаються до металевих щіток (3, 4). Щітки з'єднані з клемми для підведення струму від джерела (5). Рамка розміщена в магнітному полі постійного магніту.

Ви дізнаєтесь

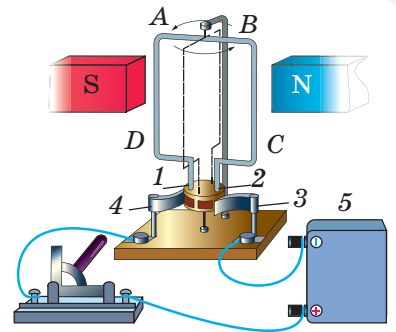
- Як поводить себе в магнітному полі рамка зі струмом

Пригадайте

- Як діє на провідник зі струмом зовнішнє магнітне поле



Мал. 61. Обертання рамки в магнітному полі

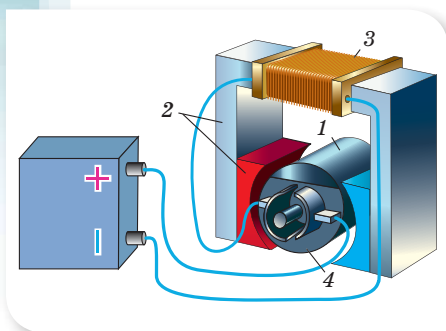


Мал. 62. Принцип дії електродвигуна

Після вмикання струму рамка повертається в магнітному полі постійного магніту. Разом з рамкою повертаються півкільця. При цьому після повороту рамки на 180° кожне півкільце сполучається з іншою щіткою. Оскільки щітки під'єднані до джерела струму, то зміна щітки, що притискає півкільце, зумовлює зміну напрямку струму в рамці на протилежний. Саме завдяки цьому рамка продовжує обертатися в тому самому напрямку. Після наступного повороту на 180° півкільця знову поміняються місцями, зміниться напрямок струму в рамці — рамка продовжить обертатися, не змінюючи напрямку.

Швидкість обертання рамки зі струмом у магнітному полі залежить від сили струму в ній та індукції магнітного поля постійного магніту. Якщо змінити полярність ввімкнення рамки, то вона буде обертатися у протилежному напрямку. Рамка зі струмом, що обертається в магнітному полі, є моделлю найпростішого електродвигуна.

Електродвигун — це пристрій, у якому енергія електричного струму перетворюється в механічну.



Мал. 63. Схема будови електродвигуна

Електродвигуни широко використовуються в промисловості та на транспорті. Вони забезпечують функціонування різноманітних верстатів, підйомників, ескалаторів метро, тролейбусів і трамваїв, електрокарів тощо. Багато побутових приладів працюють завдяки електродвигунам: електричний млинок для кави, міксер, фен та ін.

На малюнку 63 зображено будову електродвигуна. Електродвигун складається з обмотки, виготовленої з великої кількості витків ізоляованого дроту, яка намотана вздовж бічної поверхні сталевого циліндра (для підсилення магнітного поля). Циліндр з обмоткою називають *якорем* електродвигуна, або *ротором* (1). Назва ротор походить від латинського *rotare* — обертатися. Ротор обертається в магнітному полі *статора* (2), яким є обмотка (3), намотана на осердя й підключена до того самого джерела струму, що й обмотка ротора. Назва статор походить від латинського *stator* — нерухомий.

Пристрій, який автоматично змінює напрямок струму в обмотці ротора, називається *колектором* 4. Власне колектором є два півкільця, до кожного з яких притиснута щітка.

Коли по обмотках ротора і статора проходить електричний струм, то внаслідок взаємодії магнітних полів ротора і статора ротор обертається й двигун працює. Оскільки ротор закріплюють на валу електродвигуна, який з'єднують із приводами різноманітних механізмів, то його обертання зумовлює функціонування цих механізмів.

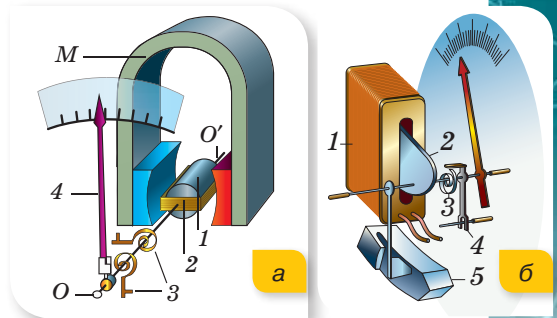
Ротор малопотужних двигунів (наприклад, в електроіграшках) обертається в магнітному полі постійного магніту. У промислових електродвигунах великої потужності магнітне поле статора створюється електромагнітом.

Широкого використання електричні двигуни набули завдяки важливим перевагам у порівнянні з іншими двигунами. Зокрема, електродвигуни є компактними, не забруднюють навколишнє середовище, втрачають порівняно мало енергії. Електричні двигуни мають найвищий ККД — близько 98 %.

Електровимірювальні прилади.

Виштовхування або притягання провідника зі струмом, що вміщений у зовнішнє магнітне поле, широко використовується в техніці. У 8 класі ми користувалися амперметрами, вольтметрами та іншими електровимірювальними приладами. Сьогодні ми зможемо пояснити принцип дії цих приладів. Прилади магнітоелектричної системи (мал. 64, а) працюють за принципом взаємодії магнітного поля постійного магніту на котушку зі струмом і рівну відповідну дію магнітного поля котушки зі струмом на постійний магніт.

У приладах електромагнітної системи (мал. 64, б) використовується принцип взаємодії магнітного поля нерухокої котушки, через яку пропускають досліджуваний електричний струм, і рухої металевої пластинки (осердя), що намагнічена цим самим полем.



Мал. 64. Схема будови електровимірювального приладу: а — магнітоелектричної системи; б — електромагнітної системи

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

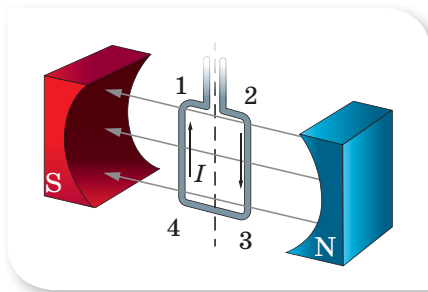
Я поміркую й зможу пояснити

1. Чому рамка зі струмом повертається в зовнішньому магнітному полі? У якому випадку вона зупиняється?
2. У якому випадку рамка в магнітному полі не просто повертається, а обертається постійно?
3. Опишіть будову електродвигуна й поясніть принцип його дії.
4. Назвіть переваги електродвигунів над тепловими двигунами такої самої потужності.
5. Для чого в конструкції електродвигуна передбачено колектор?

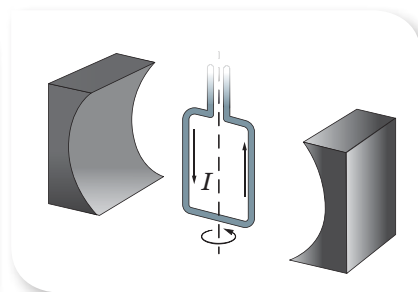
Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 5

1. У якому напрямку повертатиметься металева рамка зі струмом у магнітному полі постійного магніту (мал. 65, с.42)? Як спрямована сила Ампера, що діє на нижню частину рамки між точками 3 і 4?

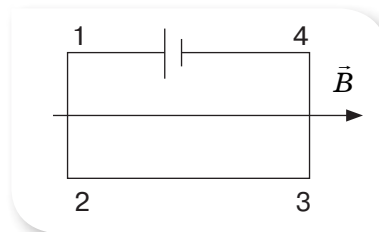


Мал. 65



Мал. 66

2. Укажіть полюси постійного магніту, в магнітному полі якого металева рамка зі струмом повертається у напрямку, який вказано на малюнку 66.
3. Металева рамка зі струмом повернулася під дією зовнішнього магнітного поля в певне положення й зупинилася. Поясніть, чому припинилося обертання рамки.
4. Електричне коло із чотирьох прямолінійних провідників, під'єднаних до джерела струму, перебуває в магнітному полі (мал. 67), вектор індукції якого спрямований горизонтально вправо. Як направлена сила Ампера, що діє на провідник 1–2?



Мал. 67

5. Прямокутна рамка зі струмом знаходиться в однорідному магнітному полі. Доведіть, що рівнодія сил Ампера, прикладених до всіх сторін рамки, дорівнює нулю.
6. Прямокутна рамка зі струмом знаходиться в неоднорідному магнітному полі. Доведіть, що сили Ампера, які діють на сторони рамки, втягують її в область більш сильного поля.



Я вмію досліджувати й експериментувати

1. Розгляньте будову двигуна електроіграшки. Яким чином можна змінити напрямок обертання ротора? Перевірте практично.
2. На гладенькій горизонтальній поверхні лежить петля з гнучкого проводу. Яку форму прийме ця петля, якщо створити в ній сильний електричний струм?

§ 10

Дія магнітного поля на рухомий електричний заряд.

Сила Лоренца

Дія магнітного поля на рухомий електричний заряд. Сила Лоренца. Як відомо, електричний струм — це потік електрично заряджених частинок. Тому дія магнітного поля на провідник зі струмом — це сумарний результат дії магнітного поля на окремі рухомі заряджені частинки, які цей струм утворюють.

Голландський учений Гендрік Лоренц пояснив існування сили Ампера тим, що магнітне поле діє на рухомі заряджені частинки в провіднику зі струмом. Оскільки ці частинки не можуть вирватися з провідника, то загальна сила, яка діє на них, прикладена до провідника. Таким чином, сила Ампера є сумою сил, що діють на вільні заряджені частинки в провіднику зі струмом.

Це припущення дозволяє визначити силу, що діє на одну рухому заряджену частинку в магнітному полі. Силу, з якою магнітне поле діє на рухому електрично заряджену частинку, називають **силою Лоренца**.

Сила Лоренца — це сила, що діє з боку магнітного поля на рухому заряджену частинку.

Одержимо вираз для визначення сили Лоренца з виразу для сили Ампера, підрахувавши кількість рухомих заряджених частинок у провіднику. Нехай N — загальна кількість вільних заряджених частинок у провіднику зі струмом. У металах такими частинками є електрони і, як відомо, $I = vneS$, де e — заряд електрона, v — модуль швидкості його руху, S — площа поперечного перерізу провідника, n — концентрація вільних електронів. Тоді

$$F_{\text{л}} = \frac{F_A}{N} = \frac{BIl}{N} \sin \alpha = \frac{BvneSl}{N} \sin \alpha = \frac{BvneV}{N} \sin \alpha.$$

Враховуючи, що $nV = N$, отримуємо вираз для обчислення сили Лоренца $F_{\text{л}} = eBv \sin \alpha$, тут α — кут між векторами швидкості \vec{v} та індукції \vec{B} .

У загальному випадку (для довільних заряджених частинок) вираз для обчислення сили Лоренца має вигляд $F_{\text{л}} = qBv \sin \alpha$, де q — електричний заряд частинки.

Ви дізнаєтесь

- Як магнітне поле діє на рухомий електричний заряд

Пригадайте

- Як магнітне поле діє на провідник зі струмом

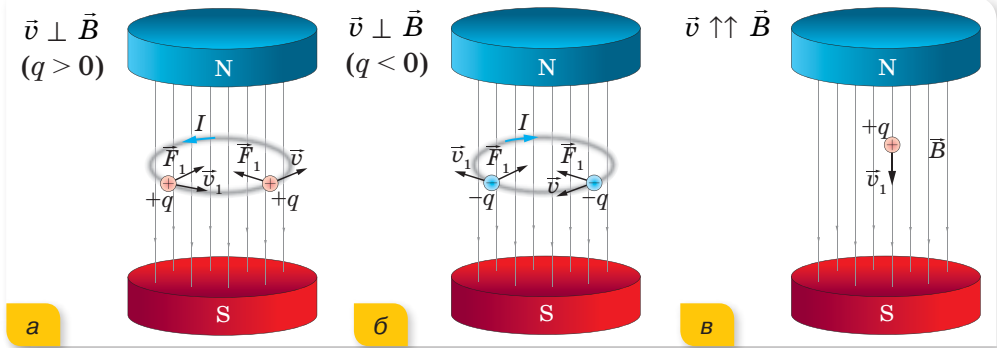


Андре Марі Ампер
(1775–1836)
Французький фізик і математик



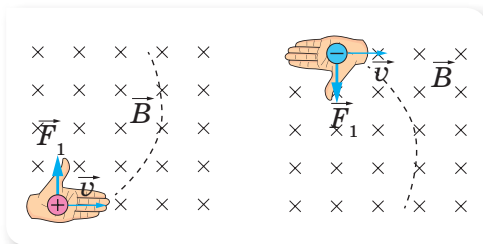
Гендрік Антон Лоренц
(1853–1928)
Голландський фізик. Лауреат Нобелівської премії 1902 р.

Сила Лоренца (як і сила Ампера) діє перпендикулярно до напрямку силових ліній. Тому заряджені частинки, улітаючи в магнітне поле перпендикулярно до його силових ліній, рухаються по колу (мал. 68, а, б). У випадку, якщо заряджена частинка рухається вздовж силових ліній, сила Лоренца не виникає (мал. 68, в).

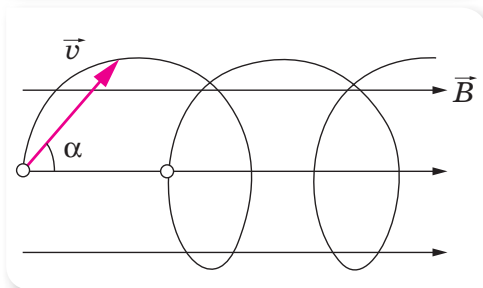


Мал. 68. Напрямок сили Лоренца

Напрямок сили Лоренца (як і напрямку сили Ампера) визначають за правилом лівої руки. При цьому слід враховувати, що коли в магнітному полі рухається *позитивно заряджена частинка*, то чотири пальці треба спрямувати в бік її руху, якщо ж рухається негативно заряджена частинка, то витягнуті чотири пальці



Мал. 69. Визначення напрямку сили Лоренца



Мал. 70. Рух зарядженої частинки, що влітає в магнітне поле під кутом $0^\circ < \alpha < 90^\circ$

треба спрямувати проти вектору швидкості (мал. 69).

Якщо частинки влітають у магнітне поле під деяким (відмінним від 90°) кутом α , вони ніби нанизуватимуться на магнітні силові лінії й рухатимуться вздовж їх по спіралі (мал. 70).

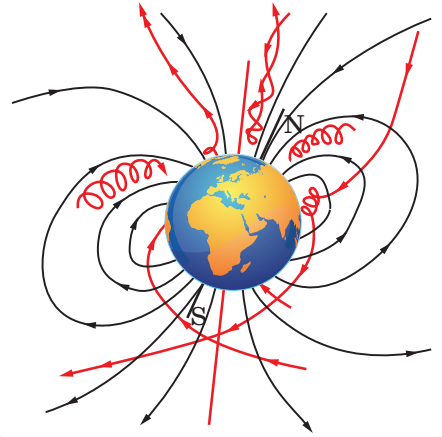
Прояви та застосування сили Лоренца в природі й техніці. Під час вивчення магнітних явищ ми дізналися, що виникнення полярного саява пояснюється взаємодією між космічними електрично зарядженими частинками й магнітним полем Землі. Саме по спіралях рухаються космічні заряджені частинки в магнітному полі Землі (мал. 71). Унаслідок дії сили Лоренца абсолютна їх більшість до поверхні Землі не долітає. Лише незначна частина цих частинок нагромаджується поблизу магнітних

полюсів Землі, гальмується, ударяючись об атоми й молекули газів, які складають атмосферу, й спричинює полярне сяйво.

Сила Лоренца «працює» також в електронно-променевих трубках, електронних мікроскопах та безлічі інших приладів. Зокрема, дуже важливе значення для розвитку ядерної фізики та фізики елементарних частинок мають *прискорювачі* частинок. Так називають установки, в яких заряджені частинки розганяються магнітним полем до великих швидкостей, що наближаються за своїми значеннями до швидкості світла (а отже, і до великих енергій). Пучки заряджених частинок великих енергій потрібні для бомбардування атомних ядер з метою дослідження їх будови, розкриття природи ядерних сил, виявлення нових частинок, що народжуються в реакціях під час взаємодії частинок високих енергій між собою.

Існує багато типів прискорювачів. Порівняно новим і сучасним є прискорювач на зустрічних пучках — *колайдер* (від англ. *collide* — зіткнутися) — це система з двох прискорювачів заряджених частинок, у якій два пучки спрямовуються назустріч один одному.

На малюнку 72 зображено колайдер Європейського центру ядерних досліджень, який розташовано поблизу м. Женева.



Мал. 71. Рух космічних заряджених частинок в магнітному полі Землі



Мал. 72. Прискорювач частинок (колайдер)

ФОРМУЄМО СВОЮ КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Як пояснити виникнення сили Лоренца? За якою формулою її обчислюють?
2. Як пов'язані між собою сила Лоренца та сила Ампера?
3. Як будуть поводити себе заряджена й нейтральна частинки в магнітному полі, якщо вони влітають перпендикулярно до силових ліній? Поясніть.
4. За яким правилом визначають напрямок дії сили Лоренца? Чи однаково воно застосовується до позитивно й негативно заряджених частинок?
5. Де в природі й техніці проявляється та застосовується дія сили Лоренца?

Вчимося розв'язувати задачі

Задача. Визначте силу, що діє на частинку з боку магнітного поля індукцією $0,3 \text{ Тл}$, якщо електричний заряд частинки $0,005 \text{ Кл}$ і влітає вона в магнітне поле зі швидкістю $200 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ під кутом 45° .

Дано:

$$q = 0,005 \text{ Кл}$$

$$v = 200 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$B = 0,3 \text{ Тл}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$F_{\text{Л}} = ?$$

Розв'язання:

На заряджену частинку в магнітному полі діє сила Лоренца, модуль якої визначається за формулою $F_{\text{Л}} = qBv \sin \alpha$.

Підставляємо числові значення:

$$F_{\text{Л}} = 0,005 \text{ Кл} \cdot 0,3 \text{ Тл} \cdot 200 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,21 \text{ Н.}$$

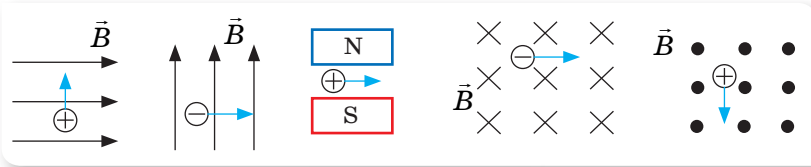
Відповідь: $F_{\text{Л}} = 0,21 \text{ Н.}$



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

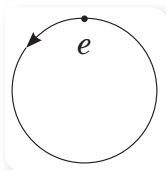
Вправа 6

- У магнітне поле перпендикулярно до його силових ліній влітає заряджена частинка. Визначте швидкість частинки, якщо її заряд $0,5 \text{ мКл}$, індукція магнітного поля 2 Тл і на частинку з боку магнітного поля діє сила 32 Н .
- Яка сила діє на протон, що рухається зі швидкістю 10 Мм/с в магнітному полі індукцією $0,2 \text{ Тл}$ перпендикулярно до ліній індукції?
- На малюнку 73 зображено різні випадки руху позитивно й негативно заряджених частинок в магнітному полі. Стрілочкою вказано напрямок вектора швидкості частинок. Укажіть, як буде направлена сила Лоренца в кожному випадку.

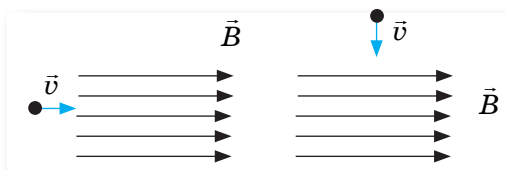


Мал. 73

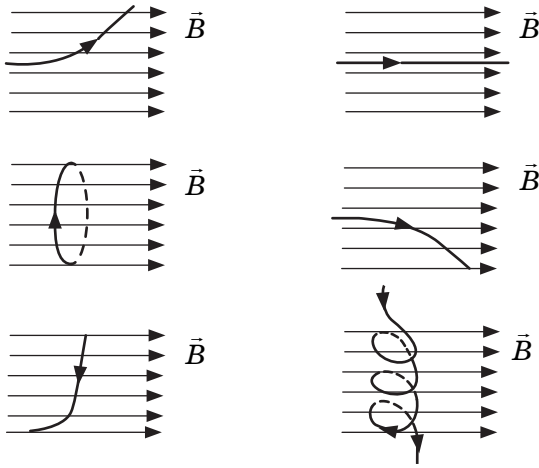
- Визначте індукцію магнітного поля, що діє із силою $8 \cdot 10^{-15} \text{ Н}$ на електрон, який влітає зі швидкістю $0,5 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ перпендикулярно до ліній індукції магнітного поля.
- Електрон рухається в магнітному полі по колу, як показано на малюнку 74. Укажіть напрямок вектора індукції магнітного поля.
- Позитивно заряджена частинка влітає в однорідне поле в одному випадку вздовж ліній індукції магнітного поля, в іншому — перпендикулярно (мал. 75). Якою буде траєкторія руху частинки в магнітному полі в кожному з випадків? Серед зображених на малюнку 76 траєкторій руху оберіть ті, що відповідають кожному випадку.



Мал. 74

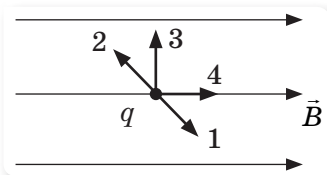


Мал. 75

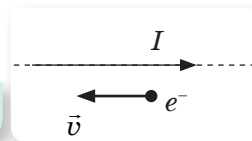


Мал. 76

7. На малюнку 77 стрілочками 1, 2, 3, 4 вказано можливі варіанти руху позитивно зарядженої частинки. У якому з напрямків має рухатися частинка, щоб модуль сили Лоренца був максимальним?
8. Електрон влітає в магнітне поле індукцією 5 Тл зі швидкістю 1 км/с. Визначте всі можливі значення модуля сили Лоренца, що діє на електрон.
9. На малюнку 78 зображено напрямок руху електрона вздовж прямолінійного провідника зі струмом. Як направлена сила Лоренца, що діє на електрон?



Мал. 77



Мал. 78

§ 11

Досліди Фарадея. Явище електромагнітної індукції. Індукційний електричний струм

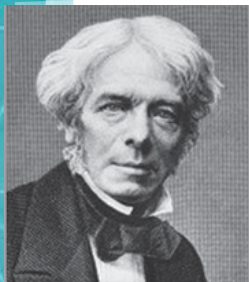
Досліди Фарадея. Після дослідів Ганса Ерстеда, які довели, що навколо провідника зі струмом виникає магнітне поле, природно було б поставити запитання: а чи можливе виникнення електричного струму в провідниках у результаті дії магнітного поля? Ученим не відразу вдалось отримати позитивний результат. Англійський фізик і хімік Майкл Фарадей провів понад 16 тисяч дослідів

Ви дізнаєтесь

- Як отримати електричний струм за допомогою магнітного поля

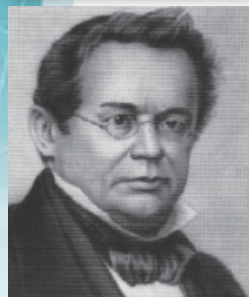
Пригадайте

- Дослід Ерстеда



**Майкл Фарадей
(1791–1867)**

Англійський фізик
і хімік



**Емілій
Християнович
Ленц
(при народженні
Генріх Фридріх
Еміль Ленц)
(1804–1865)**

Російський фізик
(німець
за походженням)

перед тим, як одержав електричний струм у провіднику за допомогою магнітного поля постійного магніту.

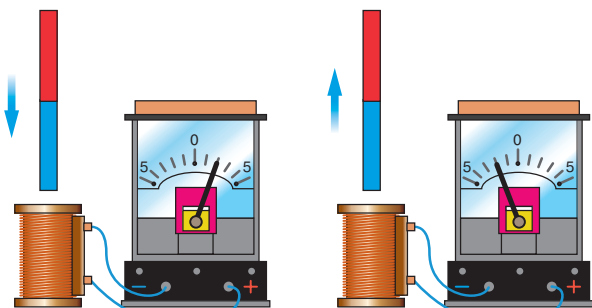
На малюнку 79 зображено сучасний варіант одного з дослідів, який підтверджує, що електричний струм у провіднику можна отримати за допомогою магнітного поля.

Помістимо в котушку, що з'єднана з гальванометром, постійний магніт. Помітимо, що під час руху магніту стрілка гальванометра відхиляється праворуч. Але як тільки рух магніту припиняється, стрілка приладу повертається на нульову позначку.

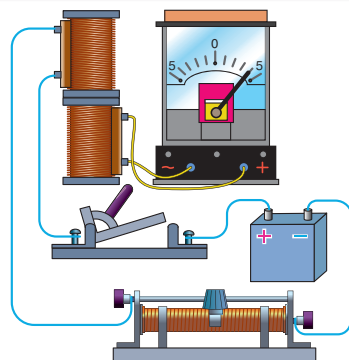
Виймаючи магніт з котушки, помітимо, що стрілка гальванометра знову відхиляється, тільки в іншому напрямку — ліворуч. Після припинення руху магніту стрілка так само повертається на нульову позначку. Таким чином, електричний струм у котушці виникає тільки за умови *переміщення магніту відносно котушки*.

Слід зазначити, що не тільки рух магніту відносно нерухомої котушки викликає в останній електричний струм. Явище виникнення електричного струму в замкнутій котушці можна спостерігати також за умови переміщення самої котушки відносно нерухомого магніту. Замість постійного магніту в цих дослідах можна використовувати електромагніт.

Електричний струм можна отримати й в одній із двох нерухомих котушок, що надіті на спільне осердя (мал. 80). Для цього потрібно вмикати або вимикати струм в обмотці верхньої котушки (електромагніту). Це спричинить виникнення та зникнення магнітного поля, що, у свою чергу, приведе до виникнення струму в нижній котушці, про що буде свідчити відхилення стрілки гальванометра, який підключений до неї.



Мал. 79. Дослід з отримання електричного струму



Мал. 80. Дослід з отримання електричного струму

Струм у нижній котушці можна отримати й у випадку зміни сили струму у верхній. Для цього потрібно пересувати повзунок реостата. При збільшенні сили струму у верхній котушці стрілка гальванометра відхилиться в один бік, а при зменшенні — в інший.

У цьому випадку електричний струм в одній з котушок виникає внаслідок зміни сили струму в іншій (яка по суті є електромагнітом).

Зробимо висновки: *електричний струм виникає в замкнутому провіднику (котушці) тільки тоді, коли магнітне поле, що пронизує її, змінюється.*

Індукційний електричний струм. Електричний струм, отриманий у замкнутому провіднику внаслідок зміни зовнішнього магнітного поля, називають *індукційним* (від лат. *inductio* — збудження, наведення).

Ми з'ясували, за яких умов у замкнутій котушці виникає індукційний струм. Залишилося зрозуміти, що є причиною його виникнення. Річ у тім, що зміни магнітного поля завжди супроводжуються появою індукційного електричного поля. Тому не магнітне, а саме електричне поле діє на вільні заряджені частинки в котушці й примушує їх рухатись упорядковано, створюючи таким чином індукційний струм.

Які ж особливості цього індукційного електричного поля? Пригадаймо, силові лінії електричного поля починаються на позитивно зарядженому полюсі постійного джерела струму й закінчуються на негативно зарядженому. У випадку індукційного електричного поля його силові лінії є замкнутими й спрямовані вони вздовж усього замкнутого провідника. Робота з переміщення зарядів у замкнутому провіднику виконується не джерелом струму (бо його в цьому колі немає), а самим індукційним електричним полем. Необхідну для цього енергію індукційне електричне поле дістає від змінного магнітного поля, яке його породжує.

Явище електромагнітної індукції. Правило Ленца. Поява індукційного струму є наслідком явища електромагнітної індукції.

Явище електромагнітної індукції — це виникнення індукційного електричного струму в замкнутому провіднику під дією змінного магнітного поля.

Як ви вже знаєте, магнітне поле існує навколо провідника зі струмом. Отже, породжений змінним магнітним полем індукційний струм, у свою чергу, породжує власне (індуковане) магнітне поле!

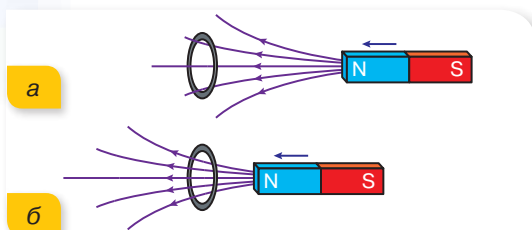
Для встановлення напрямку індукційного струму можна скористатися правилом, яке в 1834 р. сформулював російський фізик Емілій Ленц.

Правило Ленца: індукційний струм у контурі завжди має такий напрямок, що створюване ним магнітне поле перешкоджає зміні того магнітного поля, яке викликало цей індукційний струм.

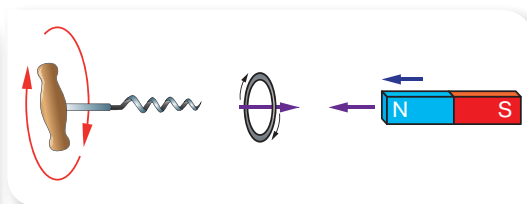
Правило Ленца відображає закон збереження енергії стосовно явища електромагнітної індукції. Якщо припустити, що силові лінії індукваного магнітного поля, всупереч правилу Ленца, спрямовані так, щоб сприяти змінам зовнішнього магнітного поля, то в результаті збільшився б індукційний струм, що викликало би збільшення індукваного магнітного поля, і так — до нескінченності. Зрозуміло, що таке явище суперечить закону збереження енергії.

Розглянемо застосування правила Ленца на такому прикладі. Будемо наближати магніт до витка північним полюсом (мал. 81, а). При цьому кількість ліній індукції магнітного поля, що проходять через контур витка, зростає (мал. 81, б).

Отже, за правилом Ленца, у витку має виникнути індукційний струм такого напрямку, щоб власним магнітним полем протидіяти зростанню зовнішнього магнітного потоку. Для цього потрібно виштовхнути магніт з витка. Це означає, що внутрішнє магнітне поле індукційного струму буде напрямлене проти зовнішнього поля постійного магніту. Отже, робимо висновок, що з того боку витка, який повернуто до магніту, з'являється однойменний полюс N . Далі міркуємо так. Для того щоб назустріч постійному магніту утворився полюс N індукваного магнітного поля, потрібно, щоб поступальне переміщення свердлика відбувалося зліва-направо (мал. 82), тобто його ручку треба обертати проти стрілки годинника (при погляді на виток з боку магніту). Напрямок цього обертання і вказує на напрямок індукційного струму.



Мал. 81. Наближення постійного магніту до витка



Мал. 82. Визначення напрямку індукційного струму у витку за правилом Ленца

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



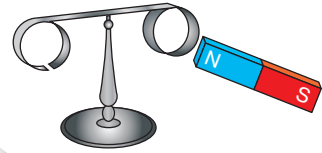
Я поміркую й зможу пояснити

1. Хто з учених провів фундаментальні досліді з електромагнітної індукції?
2. У параграфі описано декілька дослідів з виявлення явища електромагнітної індукції. Що в них спільного? Якого висновку можна дійти з аналізу описаних дослідів?
3. Чому і який струм називають індукційним?



Я вмію досліджувати й експериментувати

1. Переконайтесь у тому, що замкнутість контуру є обов'язковою умовою для виникнення в ньому індукційного струму. Для цього скористайтесь пристроєм, зображеним на малюнку 83. Він являє собою вузьку алюмінієву пластинку з алюмінієвими кільцями на кінцях. Одне кільце суцільне, інше має розріз. Пластинка з кільцями поміщена на стійку й може вільно обертатися навколо вертикальної осі.
- 2*. Як цим пристроєм перевірити правило Ленца?



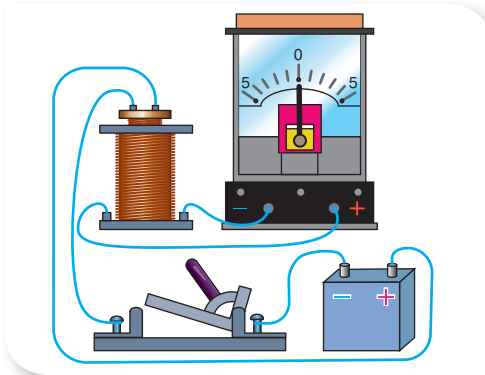
Мал. 83. Пристрій для виявлення індукційного струму



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

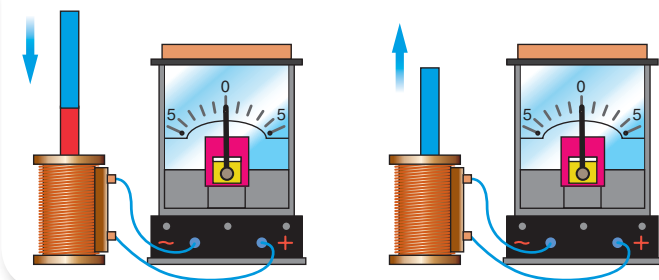
Вправа 7

1. На малюнку 84 зображено дві котушки різного діаметру, джерело струму, вимикач і гальванометр. Котушка з меншим діаметром під'єднана через вимикач до джерела струму й поміщена в котушку з більшим діаметром, яка під'єднана до гальванометра. Опишіть процеси, що будуть відбуватись у разі замикання вимикача.



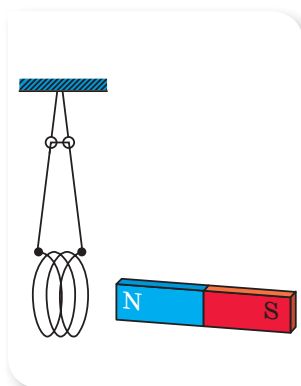
Мал. 84

2. Поясніть, як поводитиме себе стрілка гальванометра в разі опускання постійного магніту в котушку та піднімання його з котушки (мал. 85). Про що це свідчить?

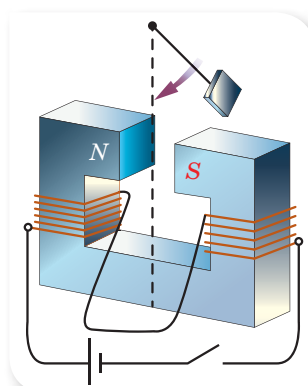


Мал. 85

3. До котушки підносять магніт (мал. 86). Як поводитиме себе котушка? Чому? Чи залежить відповідь від того, яким полюсом магніт наближають до котушки? Що спостерігатиметься, якщо магніт віддаляти від котушки?
4. Між полюсами електромагніту (мал. 87) починає рухатись металева пластинка, закріплена на ізолюваному стержні (маятник). Порівняйте тривалість коливань такого маятника до повної зупинки в разі, коли електромагніт підключено до джерела струму, і тоді, коли він не підключений.



Мал. 86



Мал. 87

§ 12

Генератори індукційного струму. Промислові джерела електричної енергії

Ви дізнаєтесь

- Як практично використовують явище електромагнітної індукції

Пригадайте

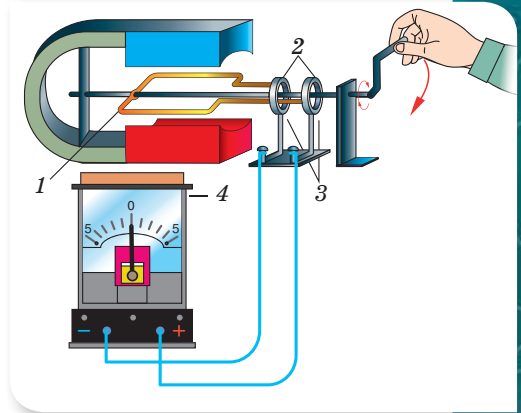
- У чому суть явища електромагнітної індукції

Змінний електричний струм. Явище електромагнітної індукції використовують у механічних джерелах електричного струму (генераторах електричної енергії), без яких неможливо уявити сучасну електроенергетику. У таких генераторах механічна енергія перетворюється на електричну.

Звернемося до досліду (мал. 88). Візьмемо рамку, що складається з кількох витків дроту (1). Своїми кінцями рамка кріпиться до кілець (2), що обертаються разом з нею. До кілець також щільно прилягають щітки (3), які виконують роль контактів.

Почнемо обертати рамку в магнітному полі. Під час обертання рамки кількість магнітних ліній, що її пронизують, то збільшується, то зменшується. Отже, магнітне поле, що пронизує рамку, постійно змінюється. Тому в рамці виникає індукційний струм (пригадайте явище електромагніт-

ної індукції). Оскільки кожний кінець рамки з'єднаний з окремим кільцем, то в ті моменти, коли половина рамки проходить біля одного з полюсів магніту (наприклад, північного), у ній виникає індукційний струм, який протікає до внутрішнього контактного кільця. А коли біля північного полюса проходить інша половина рамки, індукційний струм протікає до зовнішнього контактного кільця. Щоразу, коли рамка змінює свою орієнтацію відносно полюсів магніту, індукційний струм також змінює свій напрямок на протилежний. Про це може свідчити коливання стрілки гальванометра (4).



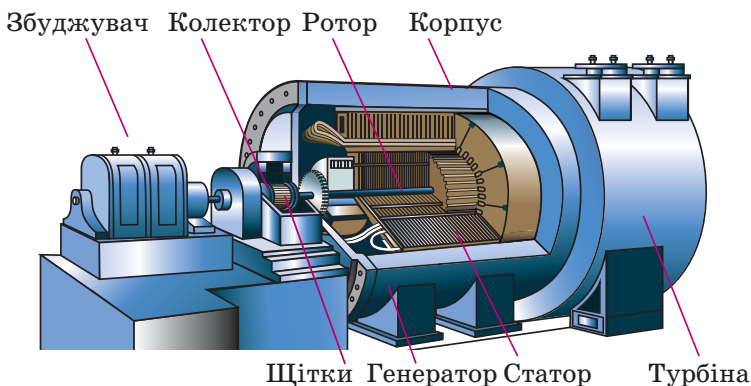
Мал. 88. Отримання змінного струму

Увесь час, поки ми будемо обертати рамку (а цю роль можуть відігравати різні джерела механічної енергії), у рамці буде виникати (генеруватися) **змінний електричний струм**.

Генератор змінного струму. Промислові джерела електричної енергії.

Пристрої, у яких механічна енергія перетворюється на електричну, називаються **генераторами електричного струму**.

Промисловий генератор змінного електричного струму (мал. 89) складається з нерухомої частини (статора) та рухомої частини (ротора). Масивний нерухомий статор являє собою порожнистий циліндр, на внутрішній поверхні якого розміщений товстий мідний ізолюваний дріт — обмотка статора. Усередині статора обертається ротор. Він являє собою великий циліндр, у пази якого вкладено обмотку. До обмотки ротора через колектор подається напруга від джерела постійного струму — збуджувача. Струм тече по обмотці ротора, створюючи навколо нього магнітне поле.



Мал. 89. Промисловий генератор змінного струму

Під дією пари (на теплових й атомних електростанціях) або води, що падає з висоти (на гідроелектростанціях), турбіна починає швидко обертати ротор генератора. Унаслідок цього магнітне поле, що пронизує обмотку статора, змінюється, і завдяки електромагнітній індукції в обмотці виникає змінний електричний струм. Зазнавши низку перетворень, цей струм подається до споживача електричної енергії.

Генератори електричного струму мають практично таку саму будову, що й електродвигуни (§ 9). Але за принципом дії генератор — це електричний двигун «навпаки».



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



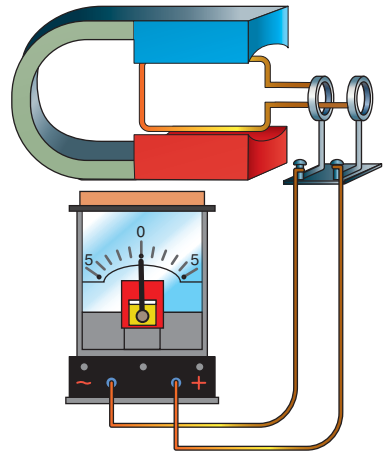
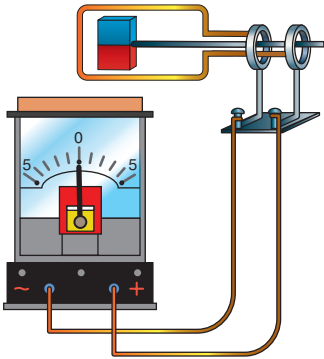
Я поміркую й зможу пояснити

1. Який струм називають змінним індукційним струмом?
2. Що таке індукційний генератор?
3. Опишіть принцип дії індукційного генератора.



Я вмію досліджувати й експериментувати

Який висновок ви можете зробити за результатами дослідів, зображених на малюнку 90?

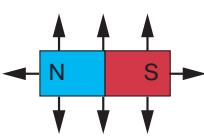


Мал. 90. Обертання рамки: а — навколо постійного магніту; б — між полюсами постійного магніту

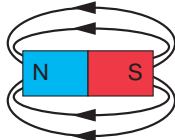
Перевірте себе

Рівень А (початковий)

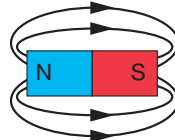
- Магнітним полюсом називається частина магніту, яка...
 - А спричиняє найслабшу магнітну дію
 - Б розміщена на краю магніту
 - В розміщена посередині магніту
 - Г спричиняє найсильнішу магнітну дію
- Укажіть, що саме утвориться, якщо постійний магніт розламати навпіл.
 - А два окремі різнойменні полюси
 - Б два окремі однойменні полюси
 - В два магніти
 - Г два немагнічені шматки металу
- Укажіть джерело утворення магнітного поля.
 - А магнітні полюси
 - Б нерухомі електричні заряди
 - В рухомі електричні заряди
 - Г метали
- Укажіть правильний варіант графічного зображення магнітного поля постійного магніту.



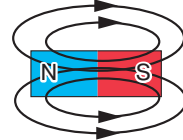
А



Б



В

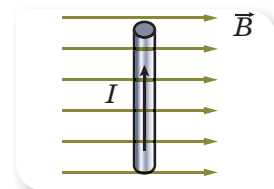


Г

- Укажіть назву правила, за яким визначається напрямок сили Ампера.
 - А правило правої руки
 - Б правило лівої руки
 - В правило Ампера
 - Г правило свердлика
- Сила Лоренца — це сила, з якою магнітне поле діє...
 - А на постійний магніт
 - Б нерухомий електричний заряд
 - В рухомий електричний заряд
 - Г провідник зі струмом
- Укажіть вираз, який найбільш точно описує явище електромагнітної індукції.
 - А явище, що зумовлює дію магнітного поля на провідник зі струмом
 - Б явище породження в просторі електричного поля змінним магнітним полем
 - В явище виникнення індукційного струму в замкнутому провіднику
 - Г явище виникнення індукційного струму в замкнутому провіднику під дією змінного магнітного поля

Рівень В (середній)

- Укажіть назву речовин, що послаблюють магнітне поле.
 - А парамагнетики
 - Б діелектрики
 - В феромагнетики
 - Г діамагнетики
- На малюнку 91 зображено розташування провідника в магнітному полі й позначено напрямок струму та ліній індукції магнітного поля. Укажіть напрямок сили, що діє на цей провідник.
 - А праворуч
 - Б ліворуч
 - В до спостерігача
 - Г від спостерігача

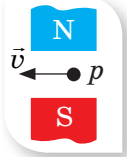


Мал. 91

3. Протон влітає в магнітне поле так, як показано на малюнку. Як направлена сила Лоренца, що діє на протон?

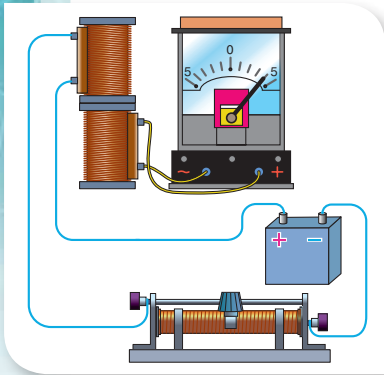
- A** вертикально вгору
B вертикально вниз

- В** до нас
Г від нас

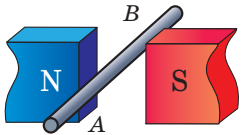


4. Установіть відповідність між прізвищами вчених і відкриттями, які вони зробили.

- | | |
|------------|--|
| 1 Гільберт | A обертання магнітної стрілки |
| 2 Ерстед | B взаємодія паралельних провідників зі струмами |
| 3 Ампер | В рух заряджених частинок у магнітному полі |
| 4 Лоренц | Г опис властивостей магнітів |
| | Д поведінка рамки зі струмом між полюсами магніту |



Мал. 92



Мал. 93

Рівень С (достатній)

1. На спільне осердя надіто дві котушки (мал. 92). За допомогою реостата у верхній котушці змінюють силу струму. У якому випадку в нижній котушці виникає індукційний струм?

- A** у разі тільки збільшення сили струму
B у разі тільки зменшення сили струму
В в обох випадках
Г у жодному випадку

2. Провідник, по якому проходить струм, розташований між полюсами магніту (мал. 93). Укажіть правильне твердження.

- A** лінії магнітного поля направлені зліва направо
B якщо струм направлений від точки *A* до точки *B*, то на провідник з боку магнітного поля діє сила, направлена вгору
В якщо поміняти місцями полюси магніту, напрямком сили, що діє на провідник, залишиться незмінним
Г сила Ампера направлена вниз, якщо струм у провіднику направлений від точки *B* до точки *A*

3. Оберіть значення сили, що діє на провідник завдовжки 10 см, у якому протікає струм силою 2 А, якщо він розміщений під кутом 90° до ліній однорідного поля з індукцією 8 мТл.

- A** 1,6 мН **B** 16 мН **В** 1,6 Н **Г** 0 мН

4. У магнітному полі з індукцією 4 Тл рухається електрон зі швидкістю 10^7 м/с, вектор якої спрямований перпендикулярно до ліній індукції магнітного поля. Укажіть модуль сили, що діє на електрон.

- A** $0,4 \cdot 10^{-11}$ Н **B** $6,4 \cdot 10^{-12}$ Н **В** $2,4 \cdot 10^{-16}$ Н **Г** $6,4 \cdot 10^{-19}$ Н

Рівень D (високий)

1. Провідник, сила струму в якому дорівнює 8 А, перебуває в однорідному магнітному полі. Яка індукція магнітного поля, якщо на прямолінійну ділянку провідника довжиною 10 см, що утворює кут 30° з напрямком вектора магнітної індукції, з боку магнітного поля діє сила 10 мН?

2. У горизонтальному провіднику завдовжки 20 см і масою 4 г проходить струм силою 10 А. Визначте модуль і напрямок магнітної індукції, за якої сила Ампера зрівноважить силу тяжіння.

ВИКОНЦЕМО НАВЧАЛЬНІ ПРОЕКТИ

У природі існують природні магнітні речовини.

Які це матеріали та як їх використовують, ви можете дізнатися, виконавши проект

«МАГНІТНІ МАТЕРІАЛИ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ»

До того ж, ви можете самостійно виготовити «магнітну рідину» й провести з нею цікаві досліди

- ◆ А чи задумувалися ви над тим, як здійснюється запис звуку в кіно?
- ◆ А як записують інформацію на комп'ютерні диски?

Дізнайтеся, виконавши проект

«МАГНІТНИЙ ЗАПИС ІНФОРМАЦІЇ»

- ◆ Чи задумувались ви над тим, скільки електромагнітних реле використовують у різних установках і пристроях?
- ◆ Як відмикаються вхідні двері за допомогою магнітних ключів?
- ◆ Що таке левітація?
- ◆ Що таке магнітна подушка?

Про це та багато інших цікавих фактів ви дізнаєтеся, виконавши проект

«ПРОЯВИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ МАГНІТНИХ ВЗАЄМОДІЙ У ПРИРОДІ Й ТЕХНІЦІ»



- ◆ А чи тільки наша Земля має магнітне поле?
- ◆ Чи існують магнітні поля навколо інших небесних об'єктів?
- ◆ Яка роль магнітних полюсів у Всесвіті?

Про все це — у проекті

«МАГНІТНІ ПОЛЯ У ВСЕСВІТІ»

СВІТЛОВІ ЯВИЩА



У цьому розділі ви будете вивчати світлові (або оптичні) явища. Досить звична, на перший погляд, цілком зрозуміла й буденна тема — і в той же час, досить загадкова та важлива. Що дає нам світло? Можливість бачити навколишній світ! Понад 90 % інформації про навколишній світ людина одержує завдяки зору! А що таке світло? Століттями між ученими тривали суперечки про природу світла. Світло стало для вчених одним з «найміцніших горішків», його навіть називали «темною плямою у фізиці»! Чи готові ви розкривати таємниці світла? Для цього вам слід пригадати, що таке матерія та які види матерії ви знаєте. У пригоді стануть ваші знання про будову речовини, отримані на уроках хімії, ваші вміння спостерігати, експериментувати, робити висновки, конструювати прилади. Вам слід озброїтись деяким знаряддям (ліхтариками, дзеркалами, лінзами), адже більшість відкриттів ви зможете зробити самостійно!

§ 13

Джерела й приймачі світла. Швидкість поширення світла

Джерела й приймачі світла. Що таке світло?

Багато різноманітних гіпотез було висунуто вченими у процесі дослідження природи світла, його поширення й сприйняття, наявності кольорів тощо. У 1678 р. голландський астроном і фізик Християн Гюйгенс висунув хвильову теорію світла, відповідно до якої світло — це хвилі, що поширюються в особливому середовищі — ефірі, який заповнює увесь простір і проникає всередину всіх тіл. Іншу теорію світла запропонував у 1704 р.

Ісаак Ньютон. Він висунув так звану корпускулярну теорію світла, за якою світло — це потік частинок — корпускул, що рухаються прямолінійно і з постійною швидкістю від джерела в усі боки. Тобто корпускули не взаємодіють з іншими частинками й рухаються відповідно до закону інерції. Теорія Ньютона пояснювала прямолінійне поширення світла, утворення за предметами різких тіней, але багато світлових явищ вона пояснити не могла.

Століттями тривали суперечки вчених про природу світла. У 1865 р. англійський фізик Джеймс Максвел опублікував теорію електромагнетизму. В одному з висновків цієї теорії *Максвел висловив припущення про електромагнітну природу світла й показав, що світло є окремим випадком електромагнітних хвиль.*

Природа світла пояснюється рухом електронів у атомах речовини. Перебуваючи в межах стійкого енергетичного рівня, електрон (а відповідно й речовина) не поглинає й не випромінює енергію. Коли ж унаслідок певних причин електрон переходить з одного енергетичного рівня на інший, то атом може випромінювати або поглинати порцію енергії (її ще називають квантом). Випромінювання, що виходить за межі атома, поширюється в просторі у вигляді електромагнітних хвиль. Деякі такі хвилі можуть сприйматися людиною як світло.

Світло — це вид електромагнітних хвиль, що сприймаються оком людини.

Джерелами світла є прилади та пристрої, а також природні й космічні об'єкти, у яких різні види енергії перетворюються в енергію світлового випромінювання. Джерела світла (мал. 94, с. 60) поділяють на «гарячі» та «холодні». До *гарячих (теплових)* джерел належать розжарені тіла: багаття, Сонце та інші зорі, лампа розжарення тощо.

Випромінювання світла *холодними* джерелами здійснюється атомами речовини за рахунок енергії зовнішнього впливу. Випромінювання

Ви дізнаєтесь

- Якими бувають джерела світла
- З якою швидкістю поширюється світло

Пригадайте

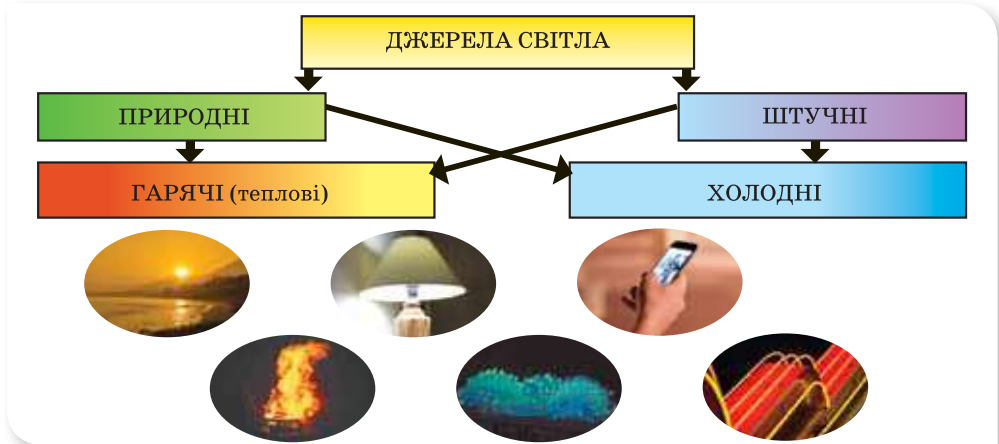
- Що вам відомо про світлові явища

ними світла зумовлене різними причинами. Наприклад, світіння речовини можливе під час проходження через неї електричного струму або в результаті дії на неї електричного поля. Прикладом такого виду світіння є газові розряди, північне сяйво, світлодіоди.

Світіння, яке може виникати внаслідок хімічної реакції, властиве деяким живим організмам: комахам-світлячкам, а також деяким видам риб, що мешкають на значній глибині. До такого виду належить також світіння трухлого дерева.

Як правило, світло, яке падає на речовину, частково відбивається, а частково — поглинається нею. Енергія поглиненого світла переважно тільки нагріває тіло. Проте для деяких речовин цієї енергії достатньо для того, щоб вони почали світитись. Наприклад, деякі речовини (їх називають люмінофори) можуть світитися під впливом опромінення їх видимим світлом, ультрафіолетовими, рентгенівськими та іншими променями. Дорожні знаки і світловідбивачі покривають спеціальними фарбами, які світяться при потрапленні на них світла від фар, що сприяє безпеці всіх учасників дорожнього руху. Газорозрядні лампи також із середини вкриті спеціальною фарбою, яка світиться внаслідок газового розряду, що проходить у ній.

Джерела світла можна поділити на такі, що існують в природі, й ті, що створила людина. За цією ознакою джерела світла поділяються на *природні* та *штучні*.



Мал. 94. Джерела світла

Джерела світла можуть випромінювати й невидимі промені — інфрачервоні, ультрафіолетові.

Приймачами світла називають пристрої, призначені для виявлення або ж вимірювання світлового (оптичного) випромінювання.

Приймачами світла є очі живих істот, а також спеціальні пристрої: термоелементи, фотоелементи, фотодіоди (мал. 95). Принцип дії приймачів заснований на перетворенні енергії світлового випромінювання в інші види енергії (теплову, механічну, електричну), які є більш зручними для безпосереднього вимірювання. Наприклад, фотоплівка та фотопапір

під дією світла змінюють свій хімічний склад. На цьому ґрунтується процес отримання фотографій. (Створення цифрових фотографій та їхній друк на кольоровому принтері має іншу природу.) Спеціальні пристрої — фотоелементи — перетворюють світлову енергію в електричну. Одними з найважливіших і необхідних для живої природи приймачів світла на Землі є листя рослин. Під дією світла в них відбувається процес фотосинтезу — утворення органічних сполук, що супроводжується виділенням кисню.

Для людини головним приймачем світла є око. Світло спричинює в очах нервові подразнення, які передаються в мозок людини. Завдяки обробці й аналізу цих сигналів людина сприймає навколишні предмети. Наша шкіра — це також приймач сонячного світла. Під дією світла вона нагрівається й змінює колір (засмагає).

Вода і ґрунт також є приймачами сонячного світла. Під дією світла вони нагріваються — перетворюють енергію світла на внутрішню енергію.

Швидкість поширення світла. У процесі розвитку фізики науковці використовували різні способи вимірювання швидкості світла. Першим її спробував розрахувати Галілео Галілей. Він проводив такий дослід. На вершині однієї гори стояв Галілей, а на іншій горі — його асистент, який мав відкрити кришку свого ліхтаря тоді, коли побачить світло від ліхтаря Галілея. Вимірявши час між моментами подачі й прийому світлового сигналу та знаючи відстань між вершинами гір, Галілей намагався розрахувати швидкість світла. Оскільки відстань між горами в порівнянні зі швидкістю світла, а отже й проміжок часу, були дуже малими, то зробити точні розрахунки Галілею так і не вдалося.

У XVII ст. вперше швидкість світла визначив данський астроном Оле Крістенсен Ремер. Він, користуючись таблицями свого наставника Джованні Доменіко Кассіні, порівняв час початку затемнення супутника Іо планетою Юпітер, навколо якої цей супутник обертається, для випадків максимальної та мінімальної відстані від Землі до Юпітера. Запізнення становило 22 хв, і за цей час світло долає відстань, яка приблизно дорівнює діаметру орбіти Землі. У результаті Оле Ремер отримав приблизне значення швидкості світла, що становило $215\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

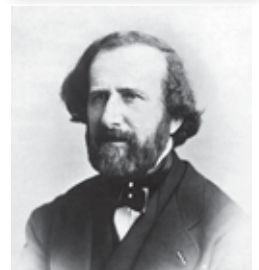


Мал. 95. Приймачі світла



Оле Крістенсен Ремер (1644 – 1710)

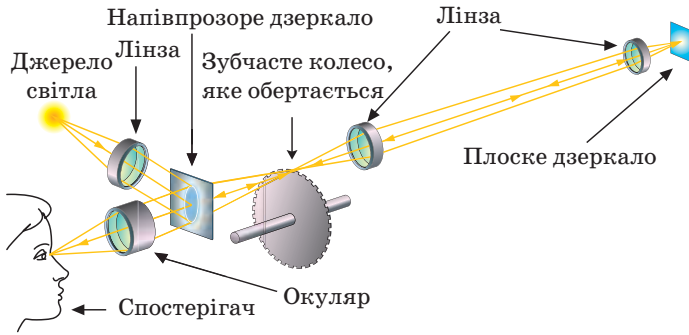
Данський астроном, який першим виміряв швидкість світла в 1676 р.



Арман Іпполіт Луї Фізо (1819–1896)

Видатний французький фізик, член Паризької академії наук

У XIX ст. швидкість світла вперше була визначена за допомогою лабораторного експерименту, який поставив французький фізик Арман Іпполіт Луї Фізо в 1849 р. (мал. 96).



Мал. 96. Схема досліду Фізо

Суть досліду така. Світло від джерела проходило через збиральну лінзу й за допомогою напівпрозорого дзеркала спрямовувалось на зубчасте колесо. Проїшовши між зубцями й через збиральні лінзи, світло досягало дзеркала, яке містилося на відстані $l = 7$ км від колеса. Якщо колесо нерухоме, то світло від джерела проходить крізь проміжок між зубцями колеса, відбивається від дзеркала й прямує до спостерігача. Для проходження світлом відстані від колеса до дзеркала й назад потрібен час $t = \frac{2l}{c}$, де c — швидкість світла.

Якщо колесо, що має m зубців, привести в обертання й підібрати кількість обертів колеса за секунду n таким, що за час t колесо повернеться на півзубця, то відбите від дзеркала світло потраплятиме на зубець і спостерігач не бачитиме його в окуляр. У цьому разі час проходження світлом відстані ($2l = 14$ км) можна визначити $t = \frac{1}{2mn}$.

Після вимірювань та обчислень, Фізо дістав значення швидкості світла $c = 313\,247\,304 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Було розроблено й чимало інших, точніших лабораторних методів вимірювання швидкості світла. За сучасними даними, швидкість світла у вакуумі дорівнює $c = 299\,792\,458 \pm 1,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Швидкість світла в різних прозорих речовинах теж вимірювали. Як виявилось, у воді вона в $\frac{4}{3}$ раза менша, ніж у вакуумі. В усіх інших речовинах вона також менша, ніж у вакуумі. У повітрі швидкість світла мало відрізняється від швидкості світла у вакуумі. Як правило, користуються наближеним значенням швидкості світла $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

У 7 й 8 класах ми неодноразово зверталися до значень фізичних величин (пригадуйте, шкала відстаней, часу, температур і т.п.). Виявляли макси-

мальні й мінімальні значення фізичних величин. Для швидкостей руху тіл існує певна особливість: *швидкість світла у вакуумі є максимально можливою (граничною) швидкістю руху будь-яких сигналів*. Жоден об'єкт не може рухатися зі швидкістю, більшою за швидкість світла у вакуумі. Останнє з'ясувалося після створення Альбертом Ейнштейном теорії відносності.



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. За яких умов речовина випромінює світло?
2. Назвіть природні та штучні джерела світла. Які з них є гарячими, а які — холодними?
3. Назвіть відомі вам приймачі світла.
4. Чим відрізняється випромінювання праски чи кип'ятильника від випромінювання електричної лампи розжарювання?



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 8

1. Класифікуйте перелічені джерела світла за типом випромінювання й походженням: фари автомобіля, Сонце, вогнище, екран телевізора, глибоководні риби, зорі, маяк, електрична дуга, блискавка, галогенові лампи, розжарений метал, світлодіод, Місяць, полярне сяйво, світлячок, свічка.
2. Швидкість поширення світла у вакуумі дорівнює 300 000 км/с. За який час світло від Сонця подолає відстань до Землі, якщо вона дорівнює 150 млн км?
3. Зоря Вега розташована на відстані 26,4 св. року¹ від Землі. Скільки років летіла б до неї ракета з постійною швидкістю 30 км/с?



Світловий промінь і світловий пучок. Закон прямолінійного поширення світла. Сонячне та місячне затемнення

Точкове джерело світла і світловий промінь.

Дослідженню світлових явищ присвячено розділ фізики, який називається *оптика* (від грец. *optike* — наука про зорові відчуття).

Для встановлення та перевірки законів оптики застосовують фізичні моделі. Так, для встановлення

Ви дізнаєтесь

- Чому утворюється тінь

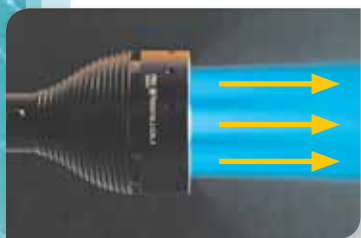
Пригадайте

- Якими бувають джерела світла

¹ Позасистемна одиниця довжини, що дорівнює відстані, яку світло долає за один рік.

деяких залежностей нехтують розмірами джерела світла, порівняно з відстанню, на якій воно перебуває. У такому випадку його називають точковим.

Точкове джерело світла — це джерело світла, розмірами якого за конкретних умов можна знехтувати. Якщо розмірами джерела світла знехтувати не можна, його називають **протяжним**.



Мал. 97. Світловий пучок і світлові промені

Прикладом точкового джерела світла є зорі, далекі ліхтарі тощо. Зрозуміло, що одне й те саме джерело за різних умов можна вважати точковим, а можна й протяжним.

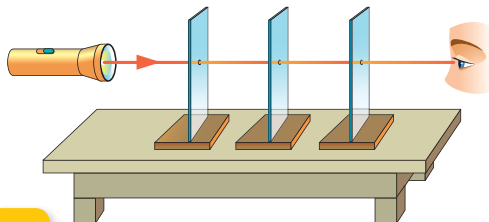
Наступним модельним поняттям, яким оперуватимемо, розглядаючи світлові явища, є *світловий промінь*. У реальному житті маємо справу з пучками світла, а от для схематичного зображення світлових пучків використовують світлові промені (мал. 97).

Світловий промінь — це лінія, вздовж якої поширюється світло (світловий пучок).

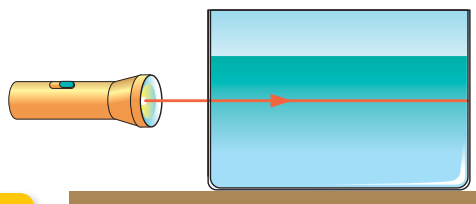
Закон прямолінійного поширення світла. Вам, можливо, приходилося «затулятися» від сонячних променів рукою. Сонячне світло не огинає руку й не потрапляє вам в очі. Переконайтесь у прямолінійному поширенні світла можна за допомогою нескладного досліду, який легко виконати самостійно (мал. 98, а). Світло проходить крізь усі отвори в листах картону.

Що будемо спостерігати, якщо аркуші картону зсунути з місця? Світло в око не потрапить. Це доводить, що світло поширюється прямолінійно.

У цьому досліді світло поширювалося в повітрі. А як поширюватиметься світло, наприклад, у воді? Проведемо такий дослід. Візьмемо посудину з водою й додаймо у воду трохи молока. Розмішаємо до однорідного стану. У такому середовищі хід променя світла можна спостерігати безпосередньо за рахунок відбивання світла від часток молока (говорять, що світло розсіюється). Спостереження доводять, що світло поширюється прямолінійно (мал. 98, б).



а



б

Мал. 98. Досліди з перевірки прямолінійності поширення світла

Ці досліди підтверджують перший закон геометричної оптики — **закон прямолінійного поширення світла**: у прозорому однорідному середовищі світло поширюється від джерела прямолінійно.

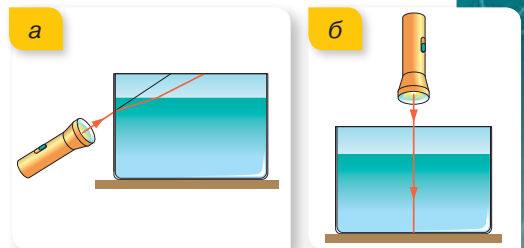
Однорідним називається середовище, у якому в усіх його точках густина речовини, з якої воно складається, є однаковою.

Якщо світловий промінь проходить крізь кілька однорідних середовищ, то на межі переходу з одного середовища в інше він може змінювати свій напрямок (мал. 99, а). Лише за умови, що промінь падає перпендикулярно до межі поділу середовищ, він не змінює напрямку (мал. 99, б). Чому так відбувається, з'ясуємо в наступних параграфах.

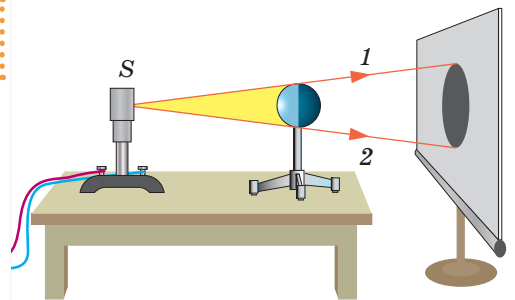
Тінь і півтінь. Прямолінійним поширенням світла пояснюється утворення тіні від непрозорих тіл при їх освітленні. Якщо джерело світла відносно предмета є точковим, то тінь від предмета буде чіткою. У цьому разі говорять про повну тінь (мал. 100).

Повна тінь — це та область простору, в яку не потрапляє світло від джерела.

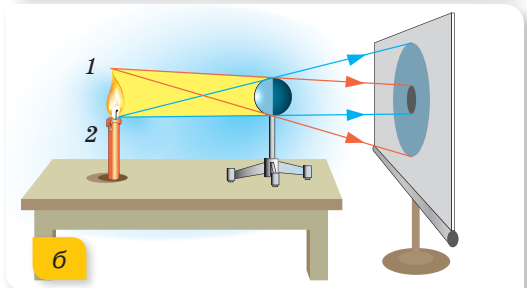
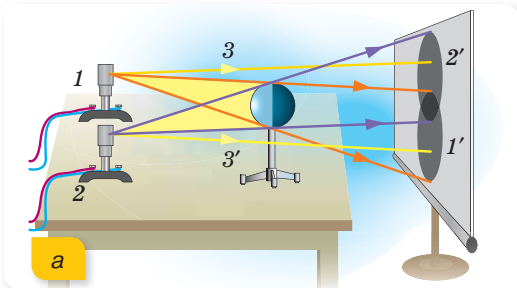
Якщо предмет освітлювати двома точковими джерелами світла (мал. 101, а) або протяжним джерелом світла (мал. 101, б), то на екрані утворюється тінь з нечіткими контурами. У такому випадку створюється не тільки повна тінь, а ще й півтінь (на мал. 101, а в області 1' і 2' потрапляє світло тільки від одного джерела).



Мал. 99. Поширення світлового променя в неоднорідному середовищі



Мал. 100. Утворення повної тіні

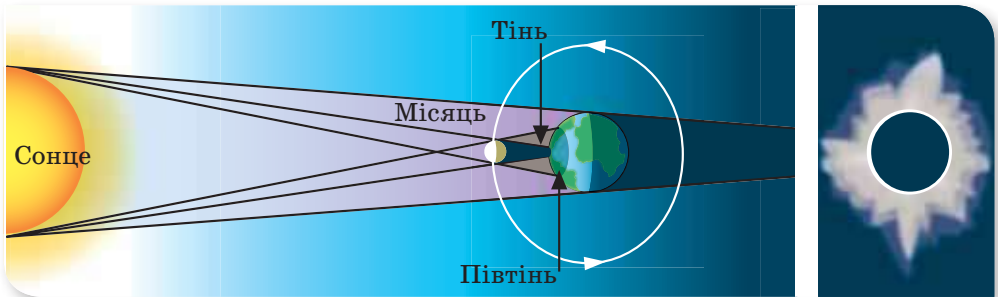


Мал. 101. Утворення тіні та півтіні: а — від двох точкових джерел; б — від протяжного джерела

Прослідкуйте за ходом світлових променів на малюнку 101, б, с. 65. Тінь утворюється в тих місцях екрана, на які не потрапляє світло від жодної точки джерела світла. Півтінь утворюється там, куди падає світло хоча б від однієї точки джерела.

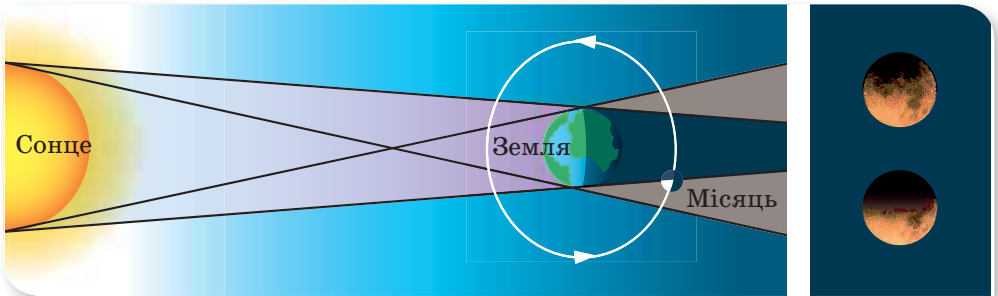
Сонячне та місячне затемнення. Утворення повної тіні й півтіні в космічних масштабах ви можете спостерігати під час місячного та сонячного затемнень.

Якщо Місяць розташовується між Землею та Сонцем, то в тих місцях Землі, на які впала повна тінь Місяця, спостерігається повне сонячне затемнення, у місцях півтіні — часткове затемнення Сонця (мал. 102).



Мал. 102. Схема Сонячного затемнення
(примітка: масштаб відстаней і розмірів на малюнку не дотримано)

Взаємне розташування Сонця, Землі та Місяця при місячному затемненні показано на малюнку 103.



Мал. 103. Схема місячного затемнення
(примітка: масштаб відстаней і розмірів на малюнку не дотримано)

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

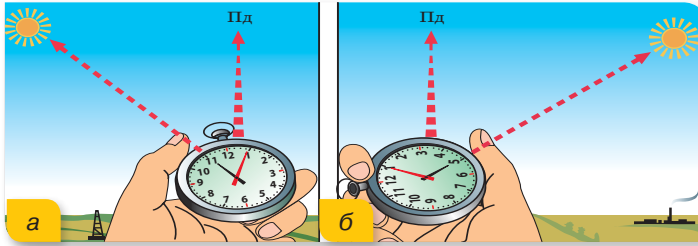
1. Які моделі використовують для опису світлових явищ? Чому виникає необхідність у їх введенні?
2. У чому полягає закон прямолінійного поширення світла? Які явища підтверджують прямолінійність поширення світла?

3. За яких умов предмет створюватиме повну тінь, а за яких — повну тінь і півтінь?
4. За яких умов виникають сонячні та місячні затемнення? Що триває довше — повне затемнення Сонця чи повне затемнення Місяця?



Я змію досліджувати й експериментувати

1. Як отримати від олівця тінь різної довжини? Поекспериментуйте й зробіть відповідні малюнки.
2. Як довести, що три стовпи, які розташовані далеко один від одного, стоять уздовж однієї прямої?
3. У першому розділі ми дослідили спосіб визначення сторін горизонту за компасом. У цьому розділі розглянемо спосіб визначення сторін горизонту за допомогою циферблата годинника. Для цього годинну стрілку спрямовують на Сонце (мал. 104, а). Положення хвилинної стрілки в цьому способі не враховується. Кут між годинною стрілкою та напрямком на цифру 2 (а взимку — на цифру 1) на циферблаті годинника ділять навпіл — це й буде напрямком на південь. До полудня ділять навпіл ту дугу (кут), яку годинна стрілка має пройти до 14 (13) години (мал. 104, а), а після полудня — ту дугу (кут), яку вона пройшла після 14 (13) години (мал. 104, б). Застосуйте цей спосіб на практиці. Перевірте визначені в такий спосіб сторони горизонту за компасом. Які б додаткові дії ви вчинили, щоб визначити сторони горизонту за годинником, якщо ваш годинник електронний і не має стрілок?



Мал. 104. Визначення сторін горизонту за Сонцем і годинником: а — до полудня; б — після полудня



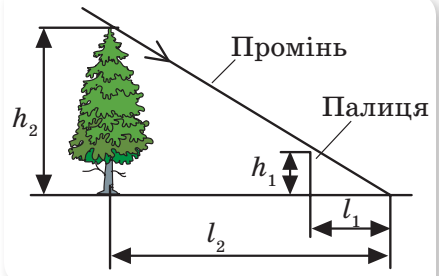
Вчимося розв'язувати задачі

Задача. Як у сонячну погоду виміряти висоту дерева за допомогою метрової палиці?

Розв'язання

Розгляньте уважно малюнок 105 до задачі. Позначимо висоту дерева h_2 , висоту палиці h_1 . Палицю слід розташувати відносно дерева так, щоб кінці тіней від дерева l_2 та від палиці l_1 збіглися. При такому їх розташуванні маємо подібні трикутники, для яких виконується

співвідношення: $\frac{h_2}{h_1} = \frac{l_2}{l_1}$.



Мал. 105

Довжини тіней можна виміряти. Висота палиці нам відома: $h_1 = 1$ м.

Отже, висота дерева $h_2 = \frac{h_1 l_2}{l_1}$.

Перевірте цей метод на практиці.



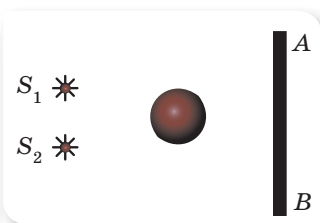
Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 9

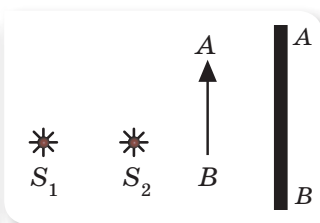
1. У якій точці — 1 чи 2 (мал. 106) — необхідно розташувати лампу, щоб отримати на екрані AB тень від кулі більших розмірів?
2. Скопіюйте малюнок 107 у зошит і укажіть на ньому тіні та півтіні від м'яча, який освітлюється двома джерелами світла S_1 і S_2 .
3. Перемалюйте малюнок 108 в зошит і вкажіть на ньому ділянки тіні й півтіні, які утворюються за непрозорим предметом, що освітлюється двома джерелами світла S_1 і S_2 .



Мал. 106



Мал. 107



Мал. 108

4. У сонячний день будинок утворює на землі тень завдовжки 30 м, а прямовисно поставлена лопата, висотою 1,5 м, — завдовжки 2 м. Визначте висоту будинку.

§ 15

Відбиття світла.

Закон відбиття світла

Ви дізнаєтесь

- Як ми бачимо тіла, що не випромінюють світло
- Що таке дифузне відбивання

Пригадайте

- Як поширюється світло у просторі

Відбиття світла. Ви бачите джерела світла тому, що утворюване ними випромінювання потрапляє у ваші очі. Тіла, що не є джерелами світла (будинки, дерева, парти тощо) ви бачите тому, що вони відбивають світло. У цьому параграфі дослідимо явище відбиття світла.

Відбивають світло різні предмети не однаково — саме це й надає розмаїтості навколишньому світу. Предмети, що відбивають майже все світло, яке

на них падає, здаються білими. Сніг, наприклад, відбиває 80–85 % світла, що на нього падає. Предмети, які поглинають майже все світло, що на них падає, здаються чорними. Предмет, що відбиває лише 10 % світла, здається звичай темно-сірим. Однак, дивлячись на повний Місяць, мало хто назве його темно-сірим, хоча виміри показують, що він відбиває теж 10 % сонячного світла, що на нього падає. Річ у тім, що ви бачите Місяць на тлі темного нічного неба, тому він здається вам яскравим.

Наша планета Земля, як і всі інші планети, відбиває сонячне світло. Для спостерігача, який би перебував на Місяці, наша Земля «світила» б з такою інтенсивністю, як 45 Місяців! (Мал. 109.)

Закон відбиття світла. Окрім того, яку кількість світла відбивають предмети, ще дуже важливо знати, як саме вони його відбивають.

Для встановлення законів відбиття світла користуються спеціальним приладом — *оптичним диском* (мал. 110). На краях диска нанесені поділки, що дають можливість визначати величину кутів. По краю диска може рухатись освітлювач, що дає вузький промінь світла. У центрі диска закріплено плоске дзеркало.

Спрямувавши світловий пучок на поверхню дзеркала, отримаємо відбитий світловий пучок. Введемо позначення кутів та визначення, які застосовуються в геометричній оптиці.

Напрямок світлового пучка від освітлювача позначено променем CO . Цей промінь називають **падаючим променем**.

Промінь OK , який показує напрямком пучка світла, що відбивається, називають **відбитим променем**.

У точку падіння променя (точку O) проводять перпендикуляр BO до поверхні дзеркала.

Зверніть увагу на те, що перпендикуляр BO , падаючий промінь CO та відбитий промінь OK лежать у площині поверхні диска.

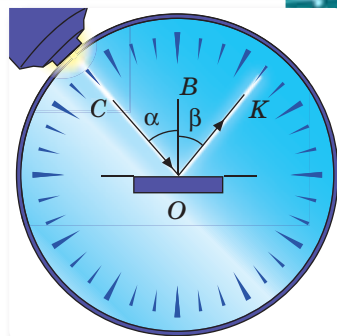
Кут α , утворений падаючим променем CO та перпендикуляром OB , називають **кутом падіння**.

Кут β , утворений відбитим променем OK і перпендикуляром OB , називають **кутом відбивання**.

Пересуваючи джерело світла краєм диска, можна змінювати кут падіння променя α . Вимірюваннями доведено, що при зміні кута падіння α



Мал. 109. Спостереження Землі з поверхні Місяця



Мал. 110. Прилад для дослідження відбиття світла

відповідно змінюється й кут відбиття β . Якщо виміряти кут α і кут β , то можна переконатися, що ці кути є однаковими.

Встановлені закономірності й називають **законом відбиття світла**:

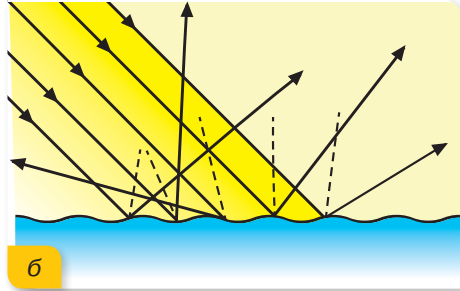
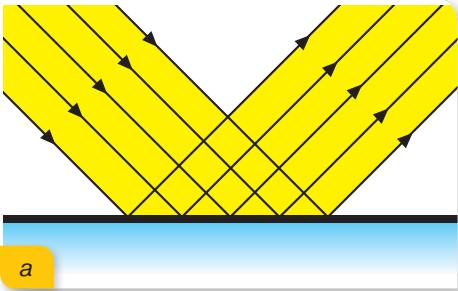
- падаючий і відбитий промені, а також перпендикуляр до відбиваючої поверхні, поставлений у точку падіння променя, лежать в одній площині;
- кут відбиття β дорівнює куту падіння α .

Із закону відбиття випливає дуже важливе твердження: промінь падаючий і промінь відбитий можуть мінятися місцями. Якщо падаючий промінь спрямувати в напрямку KO , то відбитий промінь піде в напрямку OC (мал. 110, с. 69). Цю властивість називають оборотністю світлових променів.

Дзеркальне та розсіяне відбиття світла. Як же люди бачать предмети, якщо вони відбивають світло під певним кутом? Залежно від якості поверхні розрізняють *дзеркальне* та *дифузне (розсіяне)* відбиття.

Якщо пучок паралельних променів спрямувати на дзеркало або іншу гладку поверхню, то у відбитому пучку промені також будуть паралельними (мал. 111, а).

У разі відбиття світла від нерівної поверхні кожна її точка відбиває світло у «своєму» напрямку, що й приводить до розсіювання пучка світла в усіх напрямках (мал. 111, б).



Мал. 111. Відбиття світла: а — дзеркальне; б — дифузне



Мал. 112. Фото зображення під час шоу на фонтанах у м. Вінниці

Важливе значення мають обидва види відбиття. Навколишні предмети ви бачите саме тому, що вони відбивають світло розсіяно (дифузно). А дивлячись на дзеркальну поверхню, ви можете бачити зображення предметів (і своє власне, звичайно).

А яке відбивання: дифузне чи дзеркальне — використовують під час музично-оптичного шоу фонтанів (мал. 112)?



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

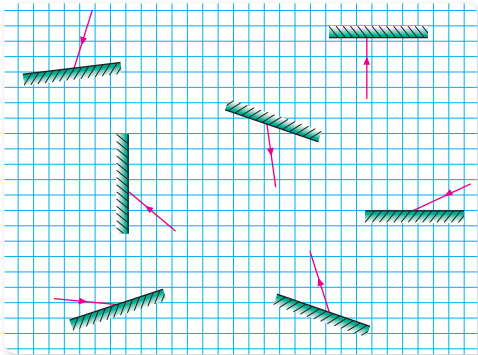
1. Які умови мають виконуватися для того, щоб людина бачила предмети?
2. Який кут називається кутом падіння?
3. Опишіть досліди, що дають змогу встановити закон відбиття.
4. Яку властивість мають падаючий та відбитий промені?
5. Чим відрізняється дзеркальне відбиття від розсіяного (дифузного)?



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

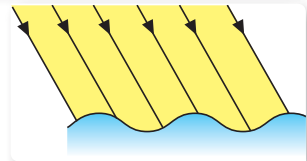
Вправа 10

1. Поясніть, чому, якщо дивитися з вулиці, то вікна вдень здаються темнішими, ніж стіни будинку, навіть якщо стіни пофарбовані в темний колір?
2. Поясніть, чому в ранковий і передвечірній час відображення сонця у спокійній воді сліпучо-яскраве, а опівдні його можна роздивитись, не мружачись?
3. Сидячи на березі річки, рибалка бачить на гладкій поверхні води відображення ранкового сонця. Куди переміститься це зображення, якщо рибалка встане?
4. Скопіюйте в зошит промені, зображені на малюнку 113. Побудуйте для кожного випадку положення відбитого (або падаючого) променя.



Мал. 113

5. На малюнку 114 показано напрямок сонячних променів, що падають на хвилясту поверхню води ставка. Перемалюйте малюнок у зошит і покажіть на ньому хід відбитих променів.
6. Кут падіння променя 25° . Чому дорівнює кут між падаючим і відбитим променями?
7. Кут між падаючим і відбитим променями — 90° . Чому дорівнює кут відбивання?
8. $2/3$ кута між падаючим і відбитим променями становить 80° . Чому дорівнює кут падіння променя?
9. Кут між поверхнею й падаючим променем дорівнює куту між падаючим і відбитим променями. Чому дорівнює кут падіння?



Мал. 114

Ви дізнаєтесь

- Як утворюється ваше зображення у дзеркалі

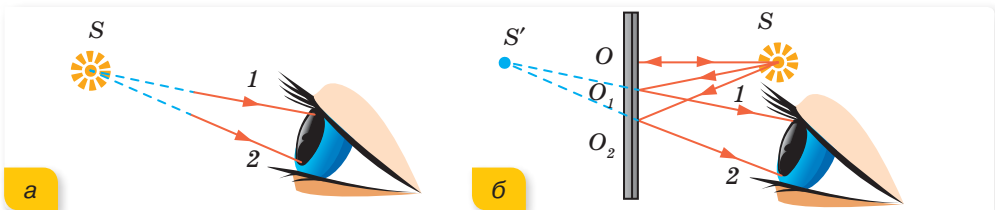
Пригадайте

- Закони відбиття

Плоске дзеркало. Коли ви дивитесь на себе в плоске дзеркало, вам здається, що ваше зображення є реальним і міститься воно за дзеркалом, хоча там ніякого зображення немає. Це зображення утворюється лише завдяки спільній дії плоского дзеркала та ока.

Розглянемо, як око сприймає звичайний предмет без будь-яких дзеркал (мал. 115, *a*). Від кожної точки джерела світла (світної точки S) в усіх напрямках розходяться промені світла. Частина з них розбіжним пучком потрапляє в око. Око сприймає точку в тому місці, звідки йдуть промені, тобто в місці їх перетину, де насправді й розміщена світна точка S .

Дійсне зображення світної точки утворюється в результаті перетину світлових променів, що йдуть від неї.



Мал. 115. Одержання зображення світної точки в оці

На малюнку 115, *б* показано, як сприймає око зображення точки в дзеркалі. Усі виділені промені (SO , SO_1 , SO_2) відбиваються від дзеркала відповідно до законів відбиття. Промінь SO падає на дзеркало під кутом 0° і під таким самим кутом відбивається, не потрапляючи в око. Інші два відбиті промені потрапляють в око розбіжним пучком, й око бачить світну точку за дзеркалом у точці S' . Насправді в точці S' самі промені не сходяться, там сходяться їхні уявні продовження (на мал. 115, *б* — пунктирні лінії), тому таке зображення називають **уявним**.

Уявне зображення — це зображення, отримане в результаті перетину не самих світлових променів, а їхніх уявних продовжень.

Плоске дзеркало завжди дає уявне зображення.

Щоб упевнитись у тому, що точки S і S' симетричні відносно дзеркала, виконаємо простий дослід. Для досліду потрібне скло, дві свічки, сірники та лінійка. Розмістимо вертикально скляну пластину, що виконуватиме роль напівпрозорого дзеркала. Оскільки скло прозоре, то будемо бачити й усе те, що міститься за склом.

Якщо запалити свічку й поставити її перед склом, то у склі побачимо її зображення. За склом поставимо таку саму незапалену свічку й пере-

суватимемо її вздовж лінійки доти, поки вона стане здаватися запаленою. Це означає, що незапалена свічка та зображення запаленої свічки збігаються (мал. 116, а).

Якщо тепер виміряти відстані від запаленої свічки до скла і відстань від скла до незапаленої свічки, то вони будуть однаковими (мал. 116, б).

Отже, **світна точка та її зображення в плоскому дзеркалі є симетричними.**

Сферичні дзеркала. На малюнку 117 зображені приклади увігнутого та опуклого дзеркал. Точка O — оптичний центр сферичної поверхні дзеркала. Літерою C позначено вершину сферичної поверхні, яку називають *полюсом* дзеркала, або центром сферичної дзеркальної поверхні. Пряму OC , що проходить через центр дзеркальної поверхні O та вершину дзеркала C , називають *головною оптичною віссю дзеркала*. Усі інші осі, проведені через точку O , називають *побічними*.

Якщо спрямувати промені паралельно головній оптичній осі *увігнутого дзеркала* (мал. 117, а), то після відбиття від поверхні дзеркала промені зберуться в точці F , яка лежить на його головній оптичній осі. Цю точку називають *головним фокусом дзеркала*.

Якщо точкове джерело світла помістити у фокусі увігнутого дзеркала, то промені після відбиття від його поверхні, поширюватимуться паралельно головній оптичній осі дзеркала (згідно з оборотністю світлових променів).

Відстань OF від вершини дзеркала до головного фокуса називають *фокусною відстанню дзеркала*, вона дорівнює половині радіуса OC сферичної поверхні дзеркала, тобто $OF = 0,5 OC$.

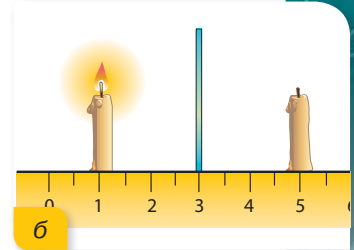
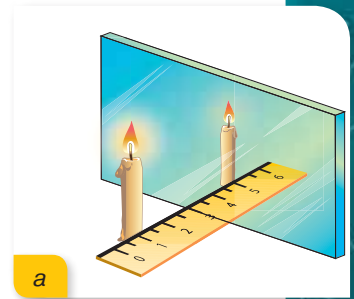
Фокусна відстань сферичного дзеркала дорівнює половині радіуса сфери, частиною якої є дзеркало, $F = \frac{R}{2}$.

Величину, обернену до фокусної відстані, називають **оптичною силою D сферичного дзеркала,**

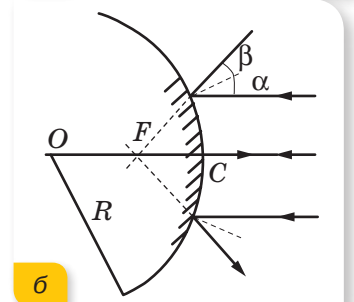
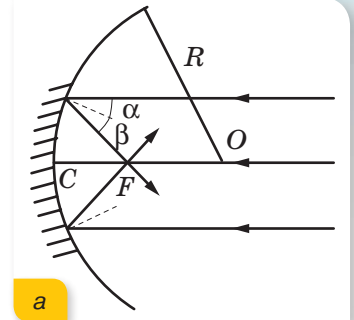
$$D = \frac{1}{F} = \frac{2}{R}.$$

Одиницею оптичної сили в СІ є діоптрія (дптр), $[D] = 1 \text{ дптр} = 1 \text{ м}^{-1}$.

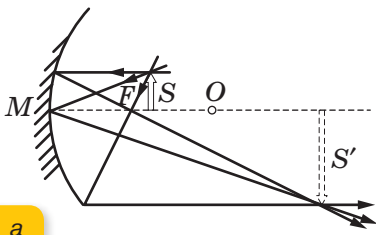
Якщо ж спрямувати світлові промені паралельно головній оптичній осі на *опукле дзеркало*, то



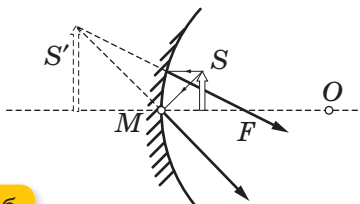
Мал. 116. Дослідження зображення у плоскому напівпрозорому дзеркалі



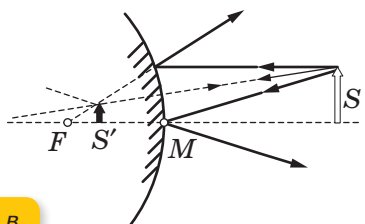
Мал. 117.
Утворення зображень:
а — в увігнутому дзеркалі;
б — в опуклому дзеркалі



а



б



в

Мал. 118. Побудова зображень у сферичних дзеркалах

відбиті промені будуть розходитися (мал. 117, б). Їхні продовження перетинатимуться в головному фокусі опуклого дзеркала F , що лежить за ним. Оскільки в цій точці перетинаються не самі промені, а їхні продовження, це означає, що фокус опуклого дзеркала є уявним.

Отже, увігнуті дзеркала — збиральні, головний фокус у них дійсний. Опуклі дзеркала — розсіювальні, головний фокус у них уявний.

На малюнку 118 зображено приклади побудови зображення предмета у сферичних дзеркалах. Розташування й розміри зображення, одержаного за допомогою увігнутого дзеркала, залежать від положення предмета щодо дзеркала. Опукле дзеркало дає тільки уявне, зменшене зображення предмета, яке розташоване між уявним фокусом та полюсом. Уявні зображення є завжди прямими (не перевернутими), а дійсні зображення, навпаки, завжди перевернуті щодо предмета.

Якщо позначити відстань між світною точкою та дзеркалом літерою d , відстань між зображенням цієї точки та дзеркалом літерою f , то можна записати співвідношення, що пов'язує ці величини з радіусом сферичної по-

верхні дзеркала R :
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{R}.$$

З урахуванням співвідношення $D = \frac{1}{F} = \frac{2}{R}$

цю залежність можна переписати у вигляді
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

Одержана формула справджується у випадку, коли зображення та фокус дзеркала дійсні. Якщо ж зображення або фокус уявні, то перед відповідною літерою ставлять знак «-».

Сферичні дзеркала використовують для виготовлення прожекторів, дзеркал огляду на транспорті, автомобільних фар, проєкційних і кишенькових ліхтарів тощо. Якщо взяти увігнуте дзеркало порівняно великих розмірів, то в його фокусі можна одержати дуже високу температуру. Такий пристрій можна використати для нагрівання води сонячними променями. У медицині увігнутими дзеркалами користуються ЛОР-лікарі та стоматологи. Увігнуті дзеркала застосовуються також у телескопах-рефлекторах, за допомогою яких спостерігають небесні тіла.

В історії стародавніх часів є легенда про те, як Архімед зумів за допомогою дзеркал на чималій відстані підпалити кораблі Риму. Сконструювати велике сферичне дзеркало досить складно, тому, можливо, Архімед використав плоскі дзеркала, які розмістив так, що відбиті від них промені спрямовувались в одну точку.



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. У якому випадку зображення називають дійсним? Уявним?
2. Які характеристики має зображення предмета у плоскому дзеркалі?
3. Як зміниться відстань між людиною та її зображенням у дзеркалі, якщо людина відійде на крок від дзеркала?
4. Які дзеркала називають «кривими»?
5. Для чого використовують сферичні дзеркала?



Я змію досліджувати й експериментувати

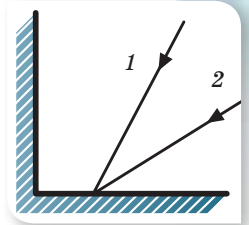
1. Прикладіть до дзеркала кінчик олівця. Яка відстань між кінцем олівця та його зображенням? Чому?
2. За допомогою дзеркал фотографи можуть отримати знімок з кількох зображеннями об'єкта. Під яким кутом і скільки слід розмістити дзеркал, щоб отримати п'ять зображень; шість зображень; вісім зображень? Зробіть пояснювальний малюнок. При нагоді зробіть такий знімок власного зображення.



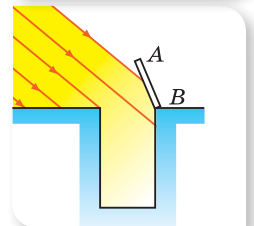
Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 11

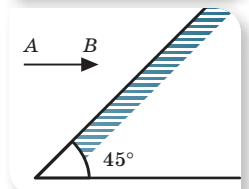
1. Промінь світла падає перпендикулярно до поверхні дзеркала. На який кут відхилиться відбитий промінь від падаючого, якщо дзеркало повернути на кут: а) 16° ; б) 24° ; в) 35° ? Зробіть висновок.
2. На одне з двох дзеркал, які розміщені під прямим кутом одне до одного, падають промені 1 і 2. Скопіюйте малюнок 119 у зошит і зобразіть подальший хід цих променів.
3. Падаючий промінь утворює з поверхнею горизонтально розміщеного дзеркала кут 50° . Як треба змінити розташування дзеркала, щоб відбитий промінь змінив свій напрямок на горизонтальний?
4. Висота Сонця така, що його промені складають з горизонтом кут 40° . Під яким кутом слід розташувати дзеркало AB над краєм криниці, щоб відбитий від дзеркала промінь потрапив на дно криниці (мал. 120)? Намалюйте відповідний малюнок у зошиті й побудуйте хід променів.
5. Які мінімальні розміри повинно мати дзеркало, щоб ви побачили себе в ньому в повний зріст? Як слід розмістити дзеркало при цьому?
6. Людина йде в напрямку до плоского дзеркала зі швидкістю 2 м/с . З якою швидкістю вона наближається до свого зображення? З якою швидкістю потрібно віддаляти дзеркало від людини, щоб відстань між людиною та її зображенням не змінювалася?



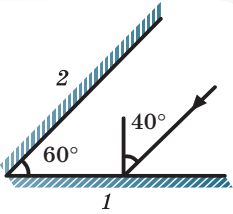
Мал. 119



Мал. 120



Мал. 121



Мал. 122

7. Предмет AB розташований перед плоским дзеркалом (мал. 121, с. 75). Побудуйте й схарактеризуйте зображення предмета у дзеркалі.
8. Промінь падає на дзеркало 1 так, як показано на малюнку 122. Визначте кут відбивання променя від дзеркала 2 .
9. Де відносно увігнутого дзеркала, з радіусом кривизни $1,2$ м, потрібно розташувати джерело світла, щоб отримати прожектор?
10. Радіус кривизни увігнутого дзеркала 80 см. На якій відстані від дзеркала слід розташувати предмет, щоб його дійсне зображення було вдвічі більшим, ніж предмет?
11. На головній оптичній осі увігнутого дзеркала радіусом 40 см міститься світна точка S на відстані 30 см від дзеркала. На якій відстані перед увігнутим дзеркалом слід розташувати плоске дзеркало, щоб промені, відбиті дзеркалами, повернулись у точку S .



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

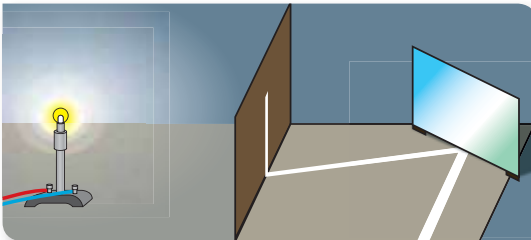
Дослідження відбиття світла за допомогою плоского дзеркала

Мета роботи: експериментально перевірити закони відбиття світла.

Прилади та матеріали: джерело світла (лампочка на підставці, ліхтарик на мобільному телефоні або лазерна указка), плоске дзеркало, екран зі щілиною (цупкий картон із прорізаною щілиною), лінійка, косинець, білий аркуш паперу, транспортир.

Вказівки щодо виконання роботи

1. Перпендикулярно до білого аркуша паперу, що лежить на столі, розташуйте екран зі щілиною (мал. 123).



Мал. 123

2. Спрямуйте на екран світло від джерела так, щоб отримана на папері освітлена смужка була добре помітною. Установіть плоске дзеркало на шляху світлового пучка.
3. Позначте олівцем на аркуші паперу положення дзеркала та хід падаючого й відбитого променів.
4. За допомогою косинця побудуйте перпендикуляр до дзеркала в точці падіння світлового пучка.

5. За допомогою транспортира визначте значення кута падіння та кута відбивання. Порівняйте ці кути.
6. Повторіть дослід для різних кутів падіння.
7. Зробіть висновок.

§ 17

Заломлення світла на межі поділу двох середовищ. Закон заломлення світла

Заломлення світла на межі поділу двох середовищ. Якщо ви подивитесь на дно річки або басейну крізь шар води, то воно буде здаватися вам ближчим, ніж є насправді. З'ясуємо причину цього явища.

На межі двох прозорих середовищ спостерігаються явища поглинання, відбивання й заломлення світла.

Ви дізнаєтесь

- Чому утворюються міражі

Пригадайте

- Закон відбиття світла

Заломлення світла — явище зміни напрямку поширення світла в разі його проходження через межу поділу двох середовищ (мал. 124).

Причиною виникнення явища заломлення світла є зміна швидкості поширення світла при переході з одного середовища в інше. Як ви вже знаєте, у вакуумі світло поширюється зі швидкістю $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

У повітрі швидкість поширення світла змінюється незначно, тому вважається, що і для повітря вона становить $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$. Швидкість

поширення світла у прозорих середовищах зменшується порівняно зі швидкістю світла в повітрі у відповідну кількість разів: у воді в 1,33 раза; у склі — майже в 1,6 раза; в алмазі — у 2,4 раза.



Мал. 124. Заломлення світла у воді

Фізична величина, що показує, у скільки разів швидкість поширення світла у вакуумі (c) є більшою, ніж швидкість світла в середовищі (v), називається **абсолютним показником заломлення середовища** n , $n = \frac{c}{v}$.

Абсолютний показник заломлення середовища має глибокий фізичний зміст. Він пов'язаний зі швидкістю поширення світла в даному середовищі, яка залежить від фізичного стану середовища (температури, густини тощо). Крім того, показник заломлення залежить від кольору світла: для червоного світла він менший, ніж для зеленого, а для зеленого — менший, ніж для фіолетового. Для будь-якого середовища абсолютний показник заломлення $n > 1$. Для повітря абсолютний показник заломлення приблизно дорівнює 1.

Із двох прозорих середовищ **оптично більш густим** називають середовище з більшим показником заломлення, тобто середовище, у якому швидкість поширення світла є меншою.

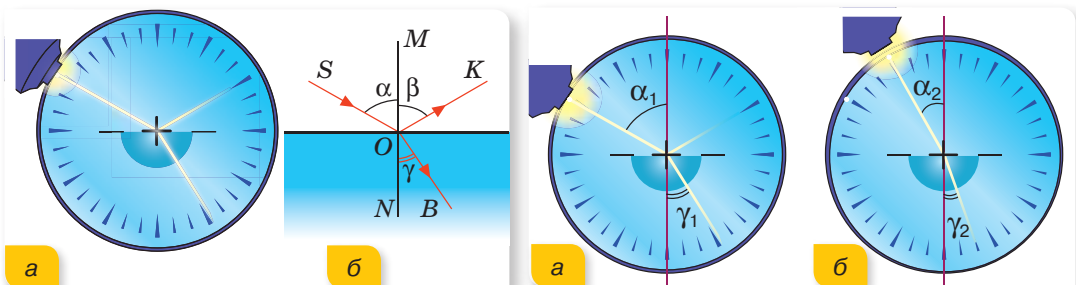
Отже, можна стверджувати, що вода — більш оптично густе середовище, ніж повітря, а скло чи алмаз — більш оптично густі середовища в порівнянні з водою.

Закон заломлення світла. Застосовуючи оптичний диск (мал. 125, а), дослідимо явище заломлення більш детально.

Цього разу закріпимо на диску скляний півциліндр так, щоб центр півциліндра збігався з центром диска. Спрямуємо на нього світловий пучок. Ми бачимо, що на межі повітря — скло світловий пучок розділяється на дві частини: одна його частина відбивається, а друга, проходячи крізь скло, — заломлюється, змінюючи напрямок поширення (нижня частина півциліндра має таку форму, що промінь при переході зі скла в повітря не заломлюється, бо кут падіння становить 0°).

Зробимо схематичний малюнок і позначимо: падаючий світловий промінь SO , відбитий промінь OK , заломлений промінь OB , перпендикуляр MN , опущений до межі поділу двох середовищ через точку O падіння променя, кут падіння α , кут відбивання β , кут заломлення γ (мал. 125, б).

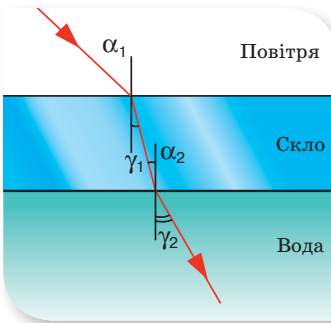
Змінюючи положення джерела світла, змінюємо кут падіння. Вимірювання показують, що відповідно змінюється й кут заломлення (мал. 126).



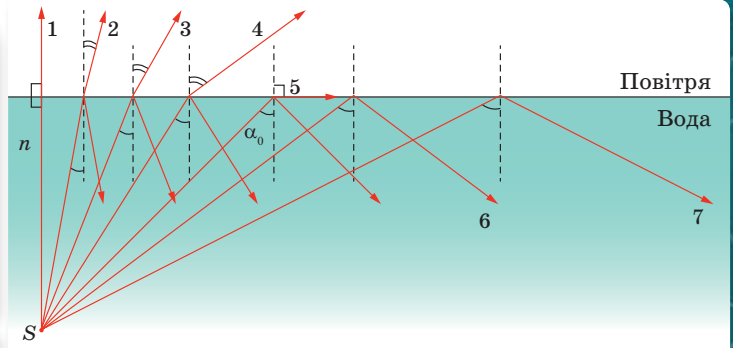
Мал. 125. Дослідження заломлення світла

Мал. 126. Зміна кута заломлення в разі зміни кута падіння

Співвідношення значень кута падіння та кута заломлення у випадку переходу пучка світла з одного середовища в інше залежить від оптичної густини кожного із середовищ. Наприклад, при переході світлового променя з



Мал. 127. Заломлення світла в середовищах із різною оптичною густиною



Мал. 128. Визначення умови повного відбиття

повітря у скло кут заломлення менший від кута падіння ($n_{\text{пов}} < n_{\text{скла}}, \gamma_1 < \alpha_1$), оскільки скло — більш оптично густе середовище, ніж повітря, а при переході світлового променя із скла у воду кут заломлення більший, ніж кут падіння ($n_{\text{вод}} < n_{\text{скл}}, \gamma_2 > \alpha_2$), бо вода — менш оптично густе середовище, ніж скло (мал. 127).

Вимірювання кутів падіння та заломлення, співвідношення абсолютних показників заломлення середовищ дозволяють визначити **закон заломлення світла**:

- падаючий промінь, заломлений промінь і перпендикуляр, встановлений до межі поділу середовищ у точці падіння променя, лежать в одній площині;

- відношення синуса кута падіння (α) до синуса кута заломлення (γ) світлового променя є сталою величиною, яка дорівнює відносному по-

казнику заломлення двох середовищ, $\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$, тут n_1 і n_2 —

абсолютні показники заломлення першого і другого середовищ, n_{21} — відносний показник заломлення.

Повне відбиття. Цікаве явище спостерігається під час поширення світла із середовища з більшою оптичною густиною в середовище з меншою оптичною густиною. Якщо поступово збільшувати кут падіння, то при певному його значенні α_0 кут заломлення дорівнюватиме 90° . При дальшому збільшенні кута падіння падаючий промінь уже буде відбиватись у те саме середовище, звідки поширювалося світло (мал. 128). Такий випадок явища заломлення носить назву повне внутрішнє відбиття.

Явище, коли світло, поширюючись у більш густому середовищі, відбивається від межі поділу з менш густим середовищем не заломлюючись, називається **явищем повного відбиття**.

Кутом повного внутрішнього відбиття називається найменший кут падіння α_0 , за якого кут заломлення буде становити 90° , а отже, заломлений промінь також буде відбиватись від межі поділу середовищ. Із закону заломлення світла випливає, що синус цього кута дорівнює $\frac{1}{n}$.

$$\frac{1}{n}$$

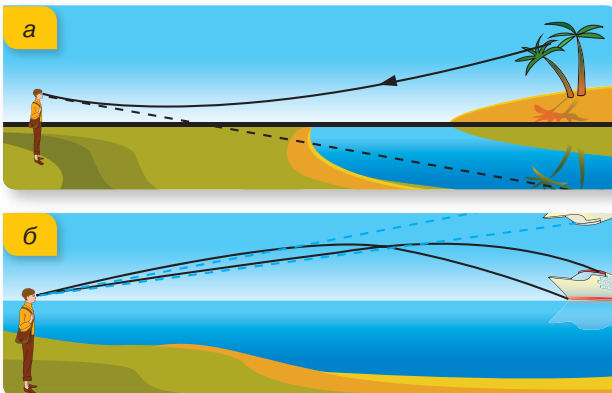
Повне внутрішнє відбиття застосовують у сучасній техніці для передавання світлових сигналів (для телевізорів, комп'ютерів, телефонів) тонкими скляними нитками — світловодами (так звана «волоконна оптика»). Оптичні волокна застосовують і в медицині. За їх допомогою на монітор передають зображення внутрішніх органів, що дозволяє ретельно їх обстежувати.

Природні явища, зумовлені заломленням світла. Заломленням світла пояснюється виникнення міражів.

Удень у пустелі нижні шари повітря дуже прогріваються від гарячого піску, унаслідок чого повітря стає неоднорідним. Проходячи крізь таке середовище, промінь світла плавно викривляється. У результаті цього промінь, що йде зверху від блакитного неба, потрапляє в око мандрівнику знизу, і йому здається, ніби він бачить блакитне озеро (мал. 129, а).

Подібні міражі можна спостерігати у спекотний літній день на автомобільних дорогах. Водію або пасажиру здається, що на асфальті є «калюжі», хоча насправді шосе сухе.

Міражі спостерігаються й над морем. У цьому разі тепліші шари повітря містяться над холоднішими й виникає так званий верхній міраж (мал. 129, б).



Мал. 129. Утворення міражів: а — нижнього; б — верхнього

Заломленням світла пояснюється також виникнення веселки. Про цей випадок детальніше йтиметься в наступному параграфі.



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

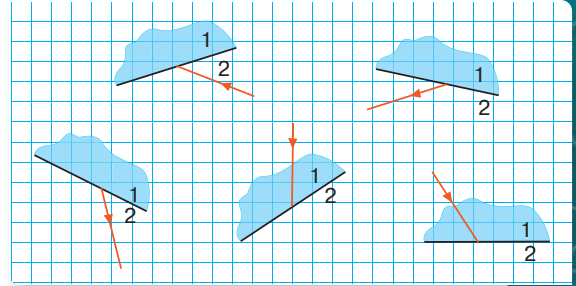
1. Чим зумовлене заломлення світла на межі двох прозорих середовищ?
2. Яке середовище називають більш оптично густим?
3. Сформулюйте й запишіть закон заломлення світла.
4. Який фізичний зміст відносного показника заломлення? Абсолютного показника заломлення?
5. Поясніть сутність явища повного внутрішнього відбиття світла. Що називають граничним кутом повного внутрішнього відбиття світла? Яка формула відображає зміст цього поняття?
6. Яке практичне застосування повного внутрішнього відбиття світла? Що таке світловідвід?



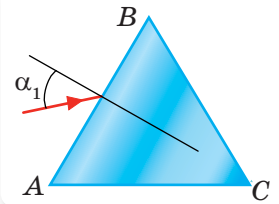
Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 12

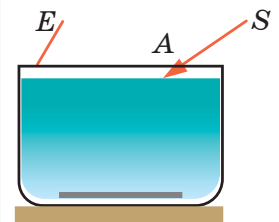
1. Скопіюйте в зошит малюнок 130. Для кожного випадку накресліть заломлений або падаючий промінь, вважаючи, що всі зображені тіла виготовлені зі скла.
2. Промінь світла падає з повітря у воду під кутом 60° . Кут між відбитим і заломленим променями становить 80° . Обчисліть кут заломлення променя.
3. В оптиці досить часто користуються тригранними призмами, виготовленими зі скла. Промінь, що падає з повітря на таку призму, зазнає заломлення двічі: при входженні у призму та при виході з неї. Накресліть у зошиті переріз призми й падаючий на її грань промінь (мал. 131). Побудуйте хід променя крізь призму.
4. На дні посудини з водою лежить плоске дзеркало (мал. 132). Накресліть наближено хід променя SA і вкажіть на екрані E точку, в яку потрапить промінь, що вийшов з води.
5. Видима глибина водойми — 3 м. Визначте дійсну глибину водойми. Показник заломлення води — 1,33.
6. Промінь, який відбивається від поверхні скла з показником заломлення 1,7, утворює із заломленим променем прямий кут. Визначте кут падіння та заломлення.



Мал. 130



Мал. 131



Мал. 132



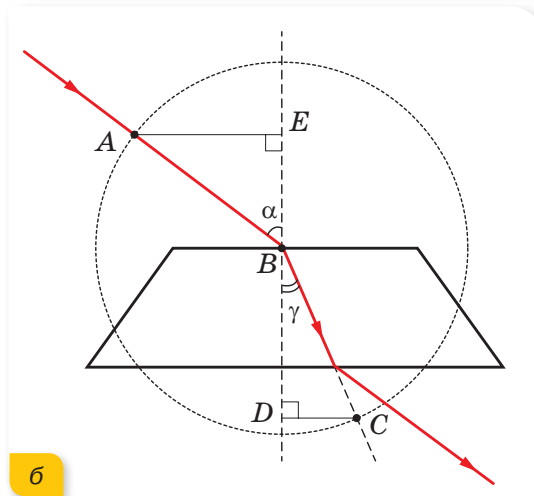
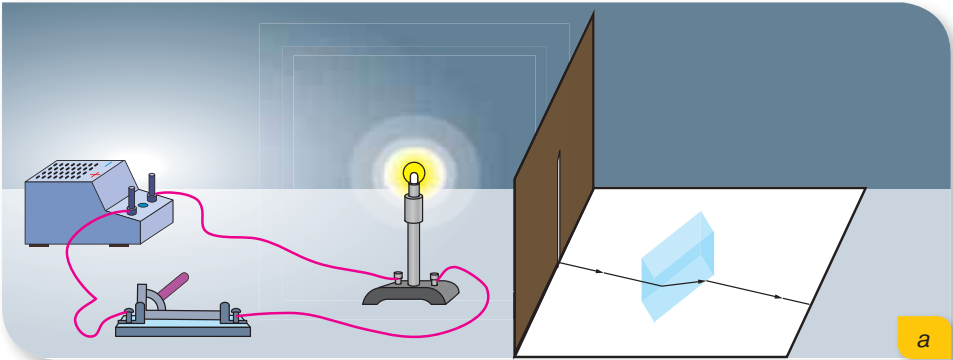
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Дослідження заломлення світла

Мета роботи: дослідити заломлення світла на межі двох середовищ і, використовуючи побудову ходу променів крізь плоско-паралельну пластинку зі скла, визначити відносний показник заломлення скла.

Прилади та матеріали: скляна плоско-паралельна пластинка; джерело струму (4 В), лампочка на підставці, екран зі щілиною, вимикач, три аркуші паперу, лінійка з міліметровими поділками, транспортер, косинець, циркуль, цупкий картон.

Вказівки щодо виконання роботи



Мал. 133

1. Складіть електричне коло (мал. 133, а). Перед лампочкою на аркуші паперу встановіть екран зі щілиною. За допомогою ключа замкніть електричне коло та отримайте за екраном на аркуші паперу тонку смужку світла.
2. Перед смужкою світла на аркуш паперу покладіть плоскопаралельну пластинку та обведіть її олівцем. За допомогою олівця відмітьте падаючий на пластинку промінь і промінь, що виходить з неї.
3. Приберіть плоскопаралельну пластинку з паперу й зобразіть хід променя в пластинці та поза нею відповідно до зроблених відміток.
4. Проведіть коло довільного радіусу із центром в точці падіння променя на пластинку (мал. 133, б) та виміряйте довжини відрізків AE та DC .
5. За формулою $\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{AE}{DC} = n$ обчисліть показник заломлення.
6. За допомогою таблиці визначте, з якого матеріалу виготовлена плоскопаралельна пластинка.
7. Дослід повторіть три рази, змінюючи кожного разу кут падіння.
8. Зробіть висновки.

§ 18

Спектральний склад природного світла. Дисперсія світла. Кольори

Спектральний склад природного світла. Навколишні предмети ми бачимо завдяки світлу від одного джерела. Сонце освітлює все навколо однаковим білим світлом, але довкола — різнокольоровий світ! Що ж таке колір? Чим зумовлене забарвлення предметів? Як око розрізняє кольори?

Перший крок до розгадки природи кольорів зробив Ісаак Ньютон. Удосконалюючи телескопи, він звернув увагу на те, що зображення, яке дає об'єктив, по краях забарвлене. Зацікавившись цим явищем, він перший «дослідив різноманітність світлових променів і зумовлені цим особливості кольорів, про які до того часу ніхто й гадки не мав» (ці слова написані на могилі Ньютона).

Ньютон зробив маленький отвір у шторі й підставив під вузький пучок світла трикутну скляну призму. На протилежній стіні з'явилася красива кольорова смуга. Цю смугу Ньютон назвав *спектром* (від лат. *spectrum* — марево) (мал. 134, а).

Ви дізнаєтесь

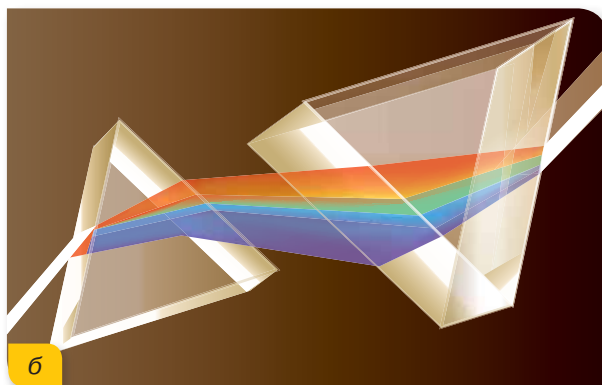
- Чим зумовлене різноманіття кольорів у природі

Пригадайте

- Що таке абсолютний показник заломлення



а



б

Мал. 134. Проходження білого світла крізь скляну призму

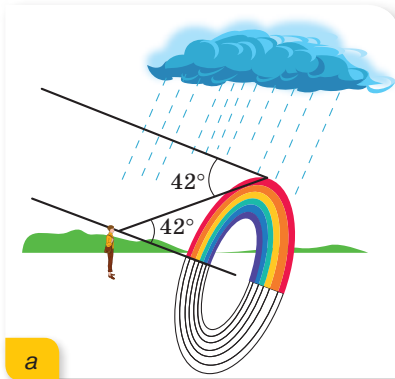
Пропускаючи пучок сонячного світла через червоне скло, Ньютон отримав на стіні червону пляму, через синє — синю. Отже, біле світло містить в собі всі інші кольори, і лише їхня спільна дія дозволяє отримати білий колір.

Це доводить такий дослід. Якщо за допомогою другої призми, повернутої на 180° відносно першої, зібрати всі кольорові пучки спектра, то знову отримаємо біле світло (мал. 134, б).

Дисперсія світла. Поява кольорового спектра внаслідок проходження білого світла через скляну призму спричинена тим, що світлові пучки різних кольорів заломлюються в склі по-різному: найбільше заломлюється світловий пучок фіолетового кольору, а найменше — червоного. Це означає, що світлові пучки різних кольорів в одному й тому самому середовищі поширюються з різною швидкістю. Світло червоного кольору поширюється з найбільшою швидкістю, а фіолетове світло — з найменшою.

Оптичні явища, обумовлені залежністю швидкості поширення світла в певному середовищі від його кольору називають **дисперсією світла**.

Саме дисперсією світла пояснюється утворення веселки внаслідок потрапляння сонячного світла на завісу дощу. Краплини води, діючи разом подібно до безлічі «призм», заломлюють біле світло і створюють різнокольорове коло (мал. 135, а). Спостерігачу, як правило, видно лише дугу веселки за умови, що він стоїть спиною до Сонця (мал. 135, б).



Мал. 135. Утворення веселки

Особливості кольорів. У спектрі виділяють сім кольорів: червоний, оранжевий, жовтий, зелений, блакитний, синій, фіолетовий.

Світлові пучки двох різних спектральних кольорів у разі накладання один на одного утворюють інші кольори. Так, спрямувавши в одну точку на екрані оранжеве і зелене світло, дістанемо пляму жовтого кольору.

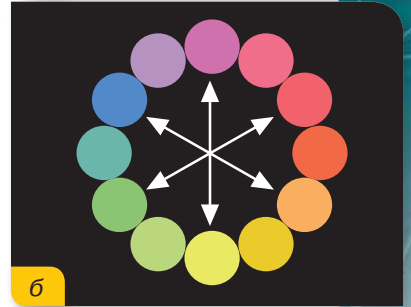
Особливе значення для нашого зору мають три **основні кольори**: червоний, зелений і синій (мал. 136, а). Змішуючи ці кольори в різних пропорціях, можна отримати всі відтінки, які може розрізнити око людини. При цьому зелений, червоний і синій кольори не можна одержати комбінацією інших кольорів спектра.

На змішуванні трьох основних кольорів ґрунтується принцип дії кольорових телевізорів і моніторів, а обернений процес розкладання світлового потоку на три основні кольори лежить в основі принципу дії цифрових кольорових фото- та відеокамер.

Деякі пари кольорів у разі накладання один на один утворюють білий колір. Такі пари кольорів називають *доповняльними*. Так, доповняльними є червоний і зелений кольори, жовтий і фіолетовий, синій та оранжевий (мал. 136, б).

Знаючи, що біле світло містить у собі всі інші кольори, можна пояснити різноманітність кольорів у природі.

Як ви вже знаєте, світло частково відбивається від фізичних тіл, частково заломлюється й частково поглинається ними. Тіла білого кольору однаково відбивають світло всіх кольорів. Чорна поверхня поглинає весь світловий потік. Зелена трава відбиває світло зеленого кольору, а решту поглинає. Червоні пелюстки троянд відбивають світло червоного кольору. Якщо, наприклад, на зелене листя спрямувати світло синього кольору, то воно здаватиметься майже чорним. Якщо цей самий світловий потік спрямувати на білий папір, то він стане синім. А от чорна шерсть kota буде чорною незалежно від кольору світлового потоку, що спрямований на нього.



Мал. 136. Утворення кольорів: а — накладання трьох основних кольорів; б — доповняльні пари



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. Який висновок зробив Ньютон з дослідів із призмою?
2. Які пучки світла — червоні чи фіолетові — мають більший кут заломлення при переході з повітря у скло?
3. Що називається дисперсією?
4. Які кольори називають основними? Назвіть властивості основних кольорів спектра.
5. Чому предмети мають різне забарвлення?



Я вмію досліджувати й експериментувати

1. Спостереження змішування трьох основних кольорів. Для цього потрібно мати три однакові ліхтарики і прозорі пластикові папки для документів (синього, червоного та зеленого кольорів). Вирізати з папок кружальця, що мають форму й розмір скла ліхтариків. За допомогою клейкої стрічки закріпити їх на склі ліхтариків. Вимкнути світло в кімнаті. Спрямувати з перехресним перекриттям на білу стіну (чи стелю) світло від ліхтариків спочатку попарно, а потім від усіх трьох. Спостерігати за утвореними кольорами.
2. Проробити дослід, подібний до дослідів Ньютона, можна й самому. Для цього потрібно взяти склянку з водою і ліхтарик. Розташувати ліхтарик під склянкою. Спрямувати світло від ліхтарика через склянку на стелю. Спостерігати на стелі кольоровий спектр.

§ 19

Лінзи. Оптична сила й фокусна відстань лінзи. Отримання зображень за допомогою лінзи. Формула тонкої лінзи

Ви дізнаєтесь

- Чому лінзи збільшують або зменшують предмети

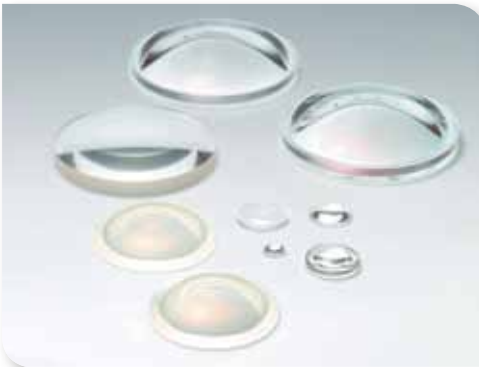
Пригадайте

- Що таке світловий промінь

Оптична сила й фокусна відстань лінзи. У наш час ніхто не замислюється над тим, що саме застосування лінз істотно пришвидшило розвиток цивілізації людей. Адже за допомогою лінз вдалося «проникнути» в таємниці мікросвіту та Всесвіту! Лінзи (мал. 137) дали людині можливість побачити невидимі неозброєним оком об'єкти й ті, що перебувають на великій відстані, а також фіксувати візуальну інформацію за допомогою фото- та відеозйомки.

Лінза — прозоре тіло, обмежене з двох боків сферичними поверхнями, або з одного боку сферичною, а з другого — плоскою поверхнею.

За формою лінзи поділяють на **опуклі** — лінзи, що посередині товщі, ніж біля країв (мал. 138, *a*), та **увігнуті** — лінзи, що посередині тонші (мал. 138, *б*).

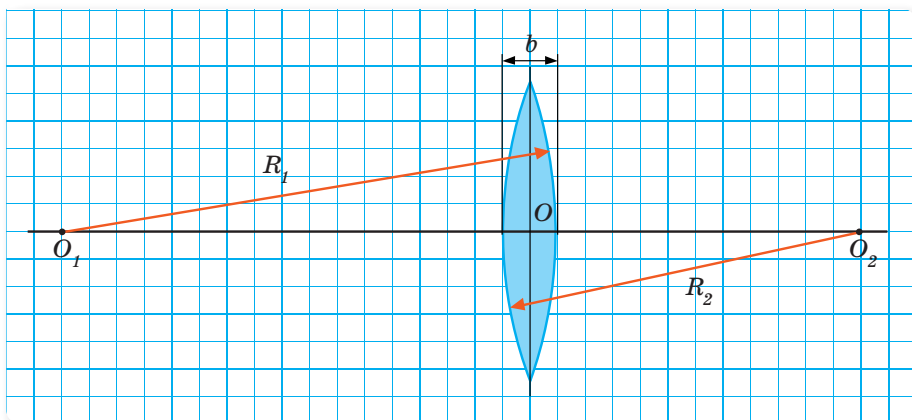


Мал. 137. Зовнішній вигляд лінз



Мал. 138. Графічне зображення лінз

Якщо товщина лінзи b у багато разів менша від радіусів сферичних поверхонь R_1 та R_2 , що її обмежують, то така лінза називається **тонкою лінзою** (мал. 139).



Мал. 139. Умова тонкої лінзи

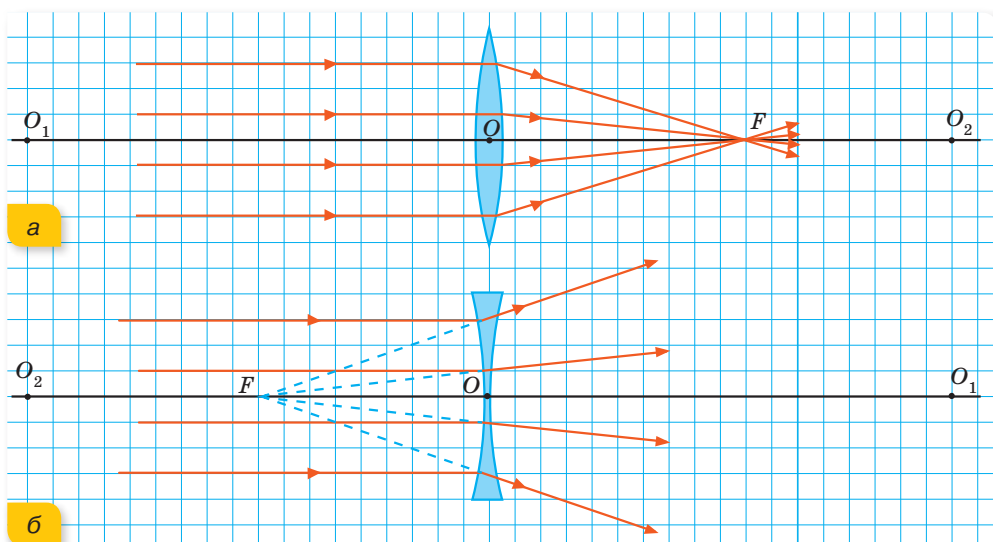
Далі, говорячи про лінзу, ми завжди матимемо на увазі тонку лінзу. Для тонкої лінзи можна вважати, що вся лінза лежить в одній площині.

Для характеристики лінз введені такі поняття.

Головна оптична вісь — пряма O_1O_2 , яка проходить через центри сферичних поверхонь, що обмежують лінзу (мал. 139, а, б).

Оптичний центр лінзи — точка O , що лежить на головній оптичній осі в центрі лінзи (мал. 140, а, б). Промінь світла, що проходить через оптичний центр лінзи, не змінює свого напрямку.

Зазвичай опуклі лінзи є **збиральними** (мал. 140, а), а увігнуті — **розсіювальними** (мал. 140, б).



Мал. 140. Характеристики лінз: а — збиральної; б — розсіювальної

Промені, що падають на збиральну лінзу паралельно головній оптичній осі, після заломлення в лінзі перетинаються в одній точці, яку називають **фокусом лінзи** й позначають F (мал. 140, а, б, с. 87).

Кожна збиральна лінза має два фокуси, розташовані на однакових відстанях по обидва боки від лінзи. Фокус збиральної лінзи називають **дійсним**, оскільки в ньому перетинаються промені (мал. 140, а, с. 87).

Якщо направити на розсіювальну лінзу пучок променів, що паралельні головній оптичній осі, то після заломлення в лінзі вони вийдуть розбіжним пучком (мал. 140, б, с. 87). Однак їхні уявні продовження зберуться в одній точці на головній оптичній осі, яку називають **уявним фокусом лінзи** й позначають F . Кожна розсіювальна лінза також має два фокуси, які розташовані на однакових відстанях по обидва боки від лінзи.

Слід зазначити, що одна й та сама лінза може бути як збиральною, так і розсіювальною. Наприклад, скляна двоопукла лінза в повітрі є збиральною, а якщо її занурити в рідину, що має абсолютний показник заломлення більший, ніж у скла, то лінза буде розсіювальною!

Фокусна відстань — відстань від оптичного центра лінзи до її фокуса. Фокусну відстань також позначають символом F . Вимірюють фокусну відстань у метрах.

Фокусну відстань збиральної лінзи домовилися вважати додатною ($F > 0$), а розсіювальної — від'ємною ($F < 0$).

Більш опукла лінза сильніше заломлює промені, отже, вона має меншу фокусну відстань.

Оптична сила лінзи — це фізична величина, що обернена до фокусної відстані й характеризує заломлювальні властивості лінзи. Оптичну силу лінзи позначають символом D , та визначають за формулою: $D = \frac{1}{F}$.

Одиницю оптичної сили лінзи називають **діоптрія**.

1 діоптрія (дптр) — це оптична сила лінзи з фокусною відстанню 1 м.

Якщо лінза збиральна, то її оптична сила є додатною ($D > 0$). Оптична сила розсіювальної лінзи — від'ємна ($D < 0$).

Отримання зображень за допомогою лінзи. Будь-який предмет можна уявити як сукупність точок. Кожна точка предмета світиться власним або відбитим світлом і випускає промені в усіх напрямках. Якщо промені, що виходять зі світної точки, після заломлення в лінзі перетинаються, то точка перетину ї є зображенням світної точки. Нагадуємо, якщо після заломлення в лінзі перетинаються дійсні промені, то отримане зображення називають *дійсним*. Якщо промені, що йдуть від світної точки, після заломлення в лінзі розбігаються, то перетинатися можуть лише їхні уявні продовження, і таке зображення називають *уявним*.

Зображення світної точки — це точка перетину заломлених у лінзі променів (або уявних продовжень променів), що виходять зі світної точки.

Для побудови зображення світної точки з усієї сукупності світлових променів, що з неї виходять, використовують такі:

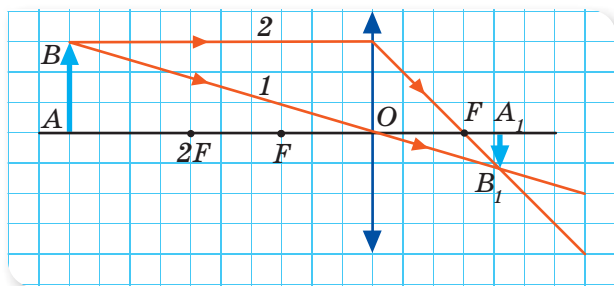
- **промінь, що проходить через оптичний центр лінзи** (цей промінь не заломлюється й не змінює свого напрямку);
- **промінь, що йде до лінзи паралельно головній оптичній осі** (після заломлення в збиральній лінзі цей промінь проходить через фокус, а у випадку розсіювальної лінзи цей промінь після заломлення в лінзі буде мати такий напрямок, нібито він виходить з фокуса);
- **промінь, що проходить через фокус і падає на збиральну лінзу** (згідно з властивістю оборотності променів, після заломлення в лінзі цей промінь йде паралельно головній оптичній осі).

На малюнку 141 показано зразок побудови зображення предмета, отриманого за допомогою збиральної лінзи.

Збиральна лінза на малюнках схематично зображується у вигляді двосторонньої стрілки. На малюнку необхідно показати оптичний центр лінзи, головну оптичну вісь, фокуси F по обидва боки від лінзи.

Предмет найчастіше зображають у вигляді стрілки.

Для побудови зображення верхньої точки B предмета застосуємо два промені (надалі при побудові завжди будемо використовувати саме два промені). Перший промінь виходить з точки B і, не заломлюючись, проходить через оптичний центр лінзи. Другий промінь проводимо з точки B паралельно головній оптичній осі до лінзи. Після лінзи промінь проходить через фокус до перетину з першим променем. Точка перетину B_1 і є зображенням верхньої точки предмета.

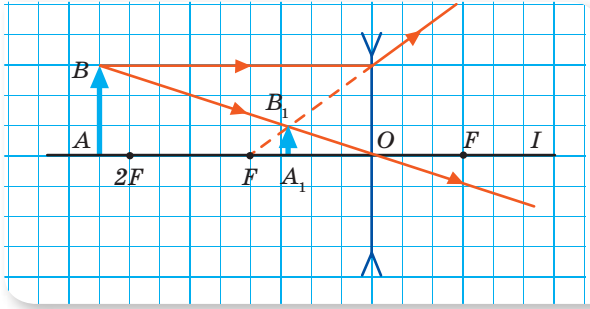


Мал. 141. Побудова зображення предмета, отриманого збиральною лінзою

Оскільки предмет розташований так, що його нижня точка A міститься на головній оптичній осі, то її зображення також буде міститись на головній оптичній осі. Для цього необхідно опустити перпендикуляр з отриманої точки B_1 на головну оптичну вісь. Як видно з побудови, отримане зображення є зменшеним і перевернутим.

Розглянемо зразок побудови зображення предмета, отриманого за допомогою розсіювальної лінзи (мал. 142, с. 90).

Зверніть увагу, як позначається на малюнках розсіювальна лінза.



Мал. 142. Побудова зображення предмета, отриманого розсіювальною лінзою

Як і в першому випадку, починаємо з променя, що виходить з верхньої точки предмета і проходить через оптичний центр лінзи.

Другий промінь проводимо з верхньої точки предмета до лінзи паралельно головній оптичній осі. Розсіювальна лінза заломлює промені так, що після виходу з лінзи промені йдуть розбіжним пучком. Тому, щоб відобразити подальший напрямок другого променя, необхідно спочатку побудувати уявний промінь (пунктирна лінія) від фокуса лінзи, що міститься по один бік з предметом, до точки на лінзі, куди падає даний промінь, а після лінзи — продовжити його суцільною лінією (дійсний промінь).

У випадку розсіювальної лінзи перетинаються не два дійсні промені, а дійсний і уявний. У такому разі отримане зображення називається уявним. Як видно з побудови, зображення предмета зменшене і пряме (не перевернуте).

Як відомо, за допомогою однієї й тієї самої лінзи можна отримати або збільшене, або зменшене зображення предмета. Вид зображення, яке дає збиральна лінза, визначається відстанню від предмета до лінзи.

Відстань від предмета до лінзи прийнято позначати d , а відстань від лінзи до зображення f .

У розглянутому випадку (мал. 141, с. 89) відстань від предмета до лінзи була більшою, ніж дві фокусні відстані $d > 2F$. За таких умов збиральна лінза формує дійсне, зменшене та перевернуте зображення. Такий тип зображення формується, наприклад, на сітківці ока.

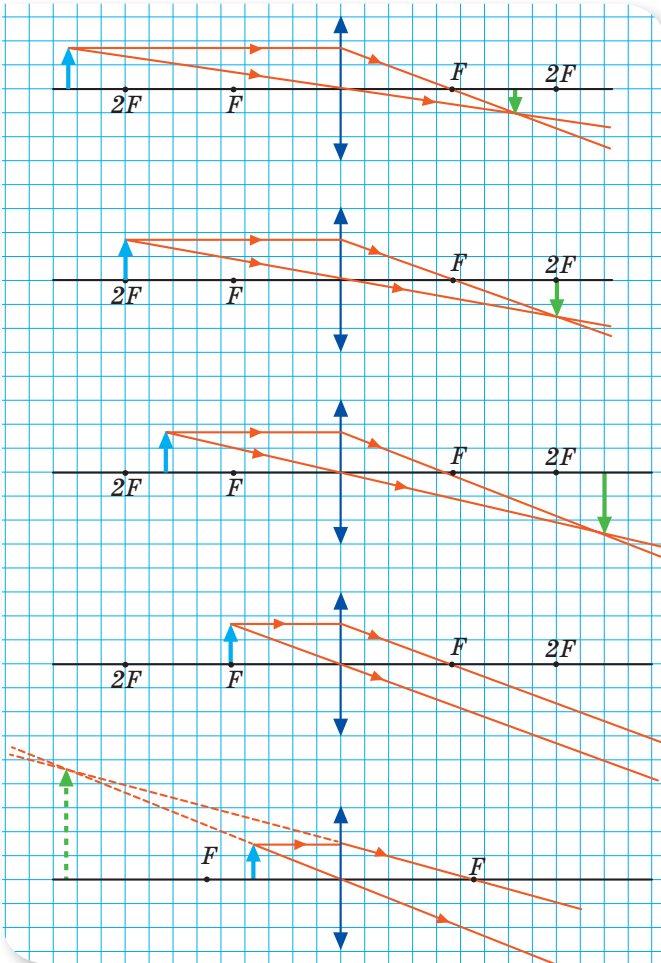
Будемо поступово наближати предмет до лінзи і слідкувати, як змінюється його зображення (мал. 143).

У випадку, коли предмет перебуває в подвійному фокусі $d = 2F$, зображення дійсне, перевернуте й таких само розмірів, як і предмет.

При $2F > d > F$ зображення дійсне, перевернуте й збільшене. Таке зображення дозволяє одержати проекційна апаратура на екрані.

При $d = F$ зображення не утворюється.

При $d < F$ зображення уявне, пряме і збільшене. Таке зображення можна отримати за допомогою лупи або мікроскопа.



Мал. 143.
Види зображень від
збиральної лінзи

Розсіювальна лінза завжди дає уявне, пряме й зменшене зображення. Зображення завжди міститься між лінзою та фокусом. (Переконайтесь у цьому самостійно.)

Формула тонкої лінзи. Існує математична залежність між відстанню d від предмета до лінзи, відстанню f від зображення до лінзи та фокусною відстанню F лінзи. Ця залежність називається **формулою тонкої лінзи** й записується так:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}.$$

Користуючись формулою тонкої лінзи для розв'язування задач, слід мати на увазі:

- відстань f слід брати зі знаком мінус, якщо зображення є уявним, і зі знаком плюс, коли зображення дійсне;
- фокусна відстань F збиральної лінзи є додатною, розсіювальної — від'ємною.

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Чим розсіювальна лінза відрізняється від збиральної?
2. Чому фокус розсіювальної лінзи називають уявним?
3. Що таке оптична сила лінзи? Як її визначають?
4. Які промені зручно використовувати для побудови зображення, одержуваного за допомогою лінзи?
5. Від чого залежить характер зображень, одержуваних за допомогою збиральної лінзи?
6. Які фізичні величини пов'язує формула тонкої лінзи?
7. Яких правил слід дотримуватися, застосовуючи формулу тонкої лінзи?

Я вмію досліджувати й експериментувати

Збиральну лінзу можна виготовити самостійно та перевірити її в дії. Для цього потрібні: гребінець, ліхтарик, склянка з водою і краплина молока. Спрямуйте світло від ліхтарика через гребінець на центр склянки з водою. Подивіться на хід променів зверху. Щоб краще було видно, як заломлюються промені у склянці, крапніть у воду молока. Можете спробувати визначити фокусну відстань та оптичну силу своєї «лінзи».

Вчимося розв'язувати задачі

Задача. За допомогою лінзи з фокусною відстанню 20 см на екрані одержали зображення предмета. Відстань від лінзи до зображення — 1 м. На якій відстані від лінзи міститься предмет? Яким буде зображення?

Дано:

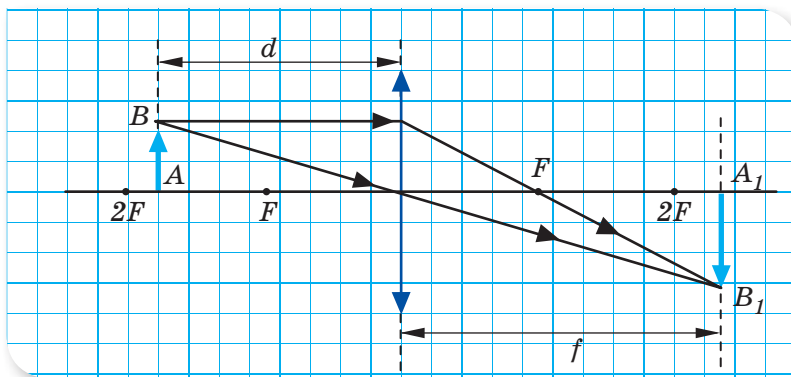
$$F = 0,2 \text{ м}$$

$$f = 1 \text{ м}$$

$$d = ?$$

Розв'язання:

Оскільки зображення одержано на екрані, то лінза збиральна. Виходячи з умови задачі $f > 2F$ й аналізуючи можливі види зображень від збиральної лінзи (мал. 143, с. 91), з'ясуємо: предмет міститься між фокусною та подвійною фокусною відстанню. Зробимо креслення (мал. 144).



Мал. 144

Значення d визначимо з формули тонкої лінзи: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$, враховуючи, що всі величини є додатними.

$$\frac{1}{d} = \frac{1}{F} - \frac{1}{f}; \quad \frac{1}{d} = \frac{f - F}{Ff}; \quad d = \frac{Ff}{f - F}; \quad d = \frac{0,2\text{ м} \cdot 1\text{ м}}{1\text{ м} - 0,2\text{ м}} = 0,25\text{ м}.$$

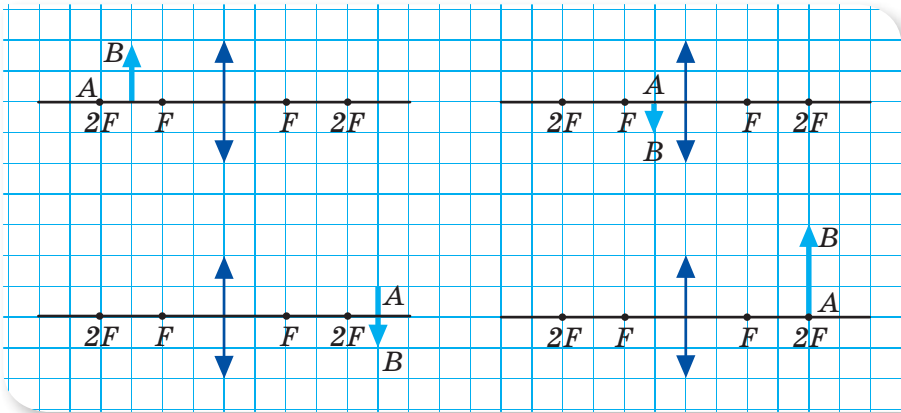
Відповідь: $d = 0,25\text{ м}$; зображення дійсне, збільшене й перевернуте.



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

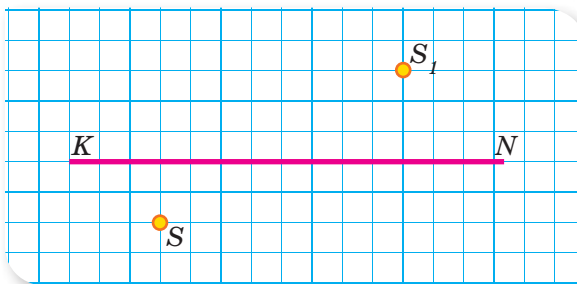
Вправа 13

- Скопіюйте малюнок 145 у зошит і для кожного випадку побудуйте зображення предмета AB у збиральній лінзі. Схарактеризуйте одержані зображення.



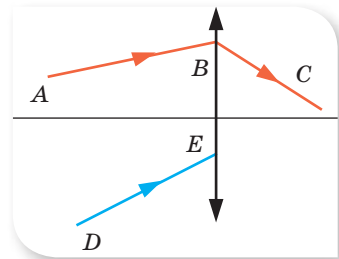
Мал. 145

- На малюнку 146 показано головну оптичну вісь (KN) лінзи, світну точку S та її зображення S_1 . Скопіюйте малюнок у зошит і за допомогою відповідних побудов визначте розташування оптичного центра та фокусів лінзи. Визначте тип лінзи й тип зображення.



Мал. 146

3. Відстань від предмета до збиральної лінзи — 15 см. Фокусна відстань лінзи — 20 см. Визначте відстань від зображення до лінзи.
4. Предмет розташовано на відстані 1 м від лінзи. Уявне зображення предмета розташоване на відстані 25 см від лінзи. Визначте оптичну силу лінзи. Якою є ця лінза — збиральною чи розсіювальною?
5. Відстань від уявного зображення предмета до збиральної лінзи, оптична сила якої 2 дптр, становить 0,4 м. Визначте відстань від лінзи до предмета.
6. Свічка стоїть на відстані 12,5 см від збиральної лінзи, оптична сила якої становить 10 дптр. На якій відстані від лінзи буде отримано зображення і яким воно буде?
7. За допомогою лінзи на екрані отримали чітке зображення предмета. Визначте оптичну силу лінзи, якщо предмет розташовано на відстані 60 см від неї, а відстань між предметом та екраном становить 90 см.
- 8*. Якщо відстань від предмета до лінзи 36 см, то висота зображення — 10 см. Якщо предмет наблизити до лінзи так, щоб відстань між ними становила 24 см, то висота зображення дорівнюватиме 20 см. Визначте фокусну відстань лінзи.
- 9*. Предмет і його зображення розміщені симетрично відносно фокуса лінзи. Відстань від предмета до фокуса лінзи — 4 см. Визначте фокусну відстань лінзи.
- 10*. На малюнку 147 показано хід променя AB до лінзи й BC після заломлення в лінзі. Побудуйте подальший хід променя DE .
- 11*. Симетричну лінзу розрізали точно навпіл по площині симетрії. Яку частину початкової оптичної сили матимуть дві утворені лінзи?



Мал. 147



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Визначення фокусної відстані та оптичної сили тонкої лінзи

Мета роботи: експериментально визначити відстані від джерела світла до лінзи та від лінзи до екрана за умови чіткого зображення на екрані. Обчислити фокусну відстань збиральної лінзи та її оптичну силу.

Прилади та матеріали: оптична лавка з лінзою, екраном і джерелом світла (ліхтарик, лазерна указка, свічка), вимірювальна стрічка.

Вказівки щодо виконання роботи

1. За допомогою оптичної лавки розташуйте джерело світла, збиральну лінзу в оправі й екран на однаковій висоті (мал. 148). У разі відсутності оптичної лавки всі предмети розташуйте на горизонтальній поверхні, а вимірювання проведіть за допомогою лінійки або вимірювальної стрічки.



Мал. 148

2. Пересуваючи збиральну лінзу, добийтеся чіткого зображення фігурного отвору освітлювача на екрані. Виміряйте відстань l між джерелом світла й екраном, відстань d від джерела світла до лінзи та відстань f від лінзи до екрана. Запишіть результати вимірювань у таблицю.

Номер дослідів	l , м	d , м	f , м	F , м	D , дптр
1					
2					
3					

3. Змініть відстань l між джерелом світла й екраном і виконайте пункт 2 із вказівок до виконання роботи.
4. Змініть відстань l ще один раз і знову виконайте пункт 2 із вказівок до виконання роботи.
5. Обчисліть значення фокусної відстані збиральної лінзи для кожного із трьох дослідів за формулою: $F = \frac{d \cdot f}{d + f}$ і запишіть результати обчислень у таблицю.
6. Обчисліть оптичну силу збиральної лінзи для кожного дослідів за формулою: $D = \frac{1}{F}$ і запишіть результати обчислень у таблицю.
7. Порівняйте значення фокусної відстані збиральної лінзи, одержані в кожному з трьох дослідів, і зробіть висновки. Додайте висновки від порівняння значень оптичної сили, що одержані в різних дослідів.

§ 20

Найпростіші оптичні прилади

Лупа. Найбільш відомий вам оптичний прилад, який дає можливість оку розглядати дрібні предмети, — *лупа* (фр. *Loupe* — збільшуваче скло) (мал. 149, с. 96). Лупа — це короткофокусна збиральна лінза,

Пригадайте

- Якими бувають лінзи
- Що таке фокус

Ви дізнаєтесь

- Як сконструювати оптичний прилад



Мал. 149. Лупа

поміщена в оправу з ручкою. Предмет розташовують між лінзою та її фокусом й отримують збільшене уявне зображення предмета. Збільшення, яке дає лупа, визначається за формулою $\Gamma = \frac{L_0}{F} = \frac{0,25}{F}$, оскільки

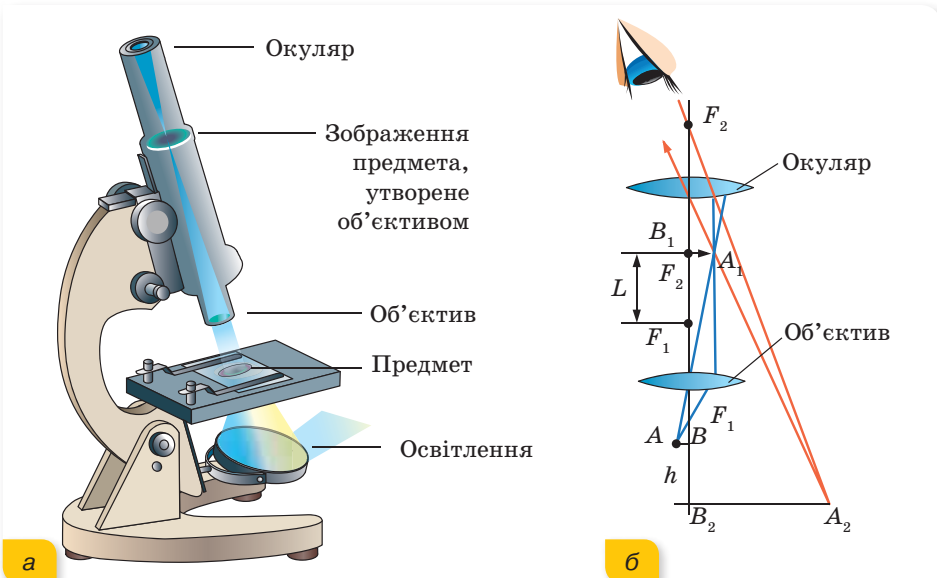
для людей з нормальним зором відстань найкращого зору $L_0 = 0,25$ м.

Мікроскоп. Якщо потрібно розглядати предмети зі значним збільшенням (від 20 до 2000 разів), використовують оптичний мікроскоп (мал. 150).

В оптичній системі мікроскопа є лінзи двох типів — об'єктив та окуляр. Розглянемо, як утворюється збільшене зображення за допомогою мікроскопа (мал. 150, б). Предмет AB розміщують у фокусі об'єктива. Об'єктив дає дійсне збільшене зображення об'єкта (A_1B_1) у фокусі окуляра. Окуляр діє як лупа — формує

уявне збільшене зображення (A_2B_2).

Збільшення мікроскопа визначається як добуток збільшення об'єктива та окуляра. Ці величини вказуються на мікроскопі. Наприклад, на об'єктиві вказано $20\times$, а на окулярі — $10\times$. Це означає, що збільшення мікроскопа — 200. Сучасні оптичні мікроскопи дозволяють отримати збільшення, що сягає 1 000 разів.

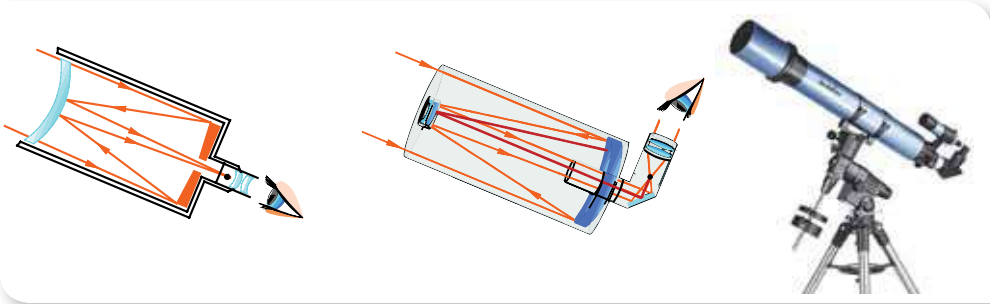


Мал. 150. Мікроскоп: а — загальний вигляд; б — хід променів у мікроскопі

Телескоп. Відомості про космічні об'єкти дістають за допомогою телескопів (мал. 151). Є два основні типи телескопів: телескопи-рефрактори (на основі лінз) і телескопи-рефлектори (на основі дзеркал).

Телескоп не тільки допомагає розрізняти об'єкти, що перебувають на невеликій кутовій відстані¹ один від одного, а й дозволяє спостерігати дуже слабкі джерела світла завдяки тому, що об'єктив збирає широкий пучок променів.

Основними частинами оптичної системи телескопа, як і в мікроскопа, є об'єктив та окуляр. Але на відміну від мікроскопа об'єктив телескопа має велику фокусну відстань, а окуляр — малу. Відстань між об'єктивом та окуляром дорівнює сумі їхніх фокусних відстаней.



Мал. 151. Хід променів і зовнішній вигляд телескопа

Довгофокусний об'єктив має великий діаметр, він збирає значну кількість світла від далекого світила і створює майже у фокусі чітке зменшене, обернене зображення об'єкта. І хоча зображення є сильно зменшеним, зате розташоване набагато ближче, ніж сам предмет. Таким чином об'єктив телескопа, на відміну від об'єктива мікроскопа, має велику фокусну відстань. І що більшою є ця відстань, то сильніше він «наближає» об'єкт.

Через окуляр телескопа, так само як і через окуляр мікроскопа, це зображення розглядається, як у лупу.

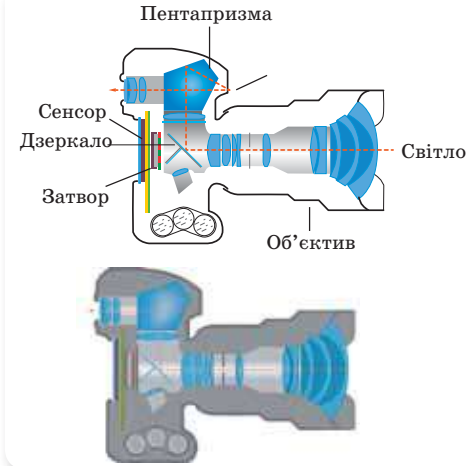
Фотоапарати та проєкційна техніка. Фотоапарати донедавна були найбільш відомими в побуті оптичними пристроями. Сьогодні більшість фотографій ви отримуете за допомогою фотокамер, вбудованих у мобільний телефон.

Основна частина фотоапарата — об'єктив. Він може складатись із кількох лінз, які дозволяють отримати чітке зображення на фотоматеріалі (фотоплівці, а в цифрових фотоапаратах — пластинці зі світловими датчиками (пікселями)). Зображення у фотоапараті, так само як і в нашому оці, дійсне, перевернуте й зменшене.

Сучасні фотоапарати мають складну будову (мал. 152, с. 98). Крім механічних та оптичних елементів, у них використовуються складні електронні пристрої для автоматичного керування діафрагмою, затвором, фокусування об'єктива й управління фотоспалахом.

Проєкційна техніка (мал. 153, с. 98) слугує для отримання збільшених зображень об'єктів. Головною частиною проєкційної апаратури також є об'єктив, який може складатись із кількох лінз.

¹ Кутовою відстанню між двома точками сфери є кут між радіусами, проведеними в ці точки.



Мал. 152. Цифровий фотоапарат



Мал. 153. Проекційна техніка

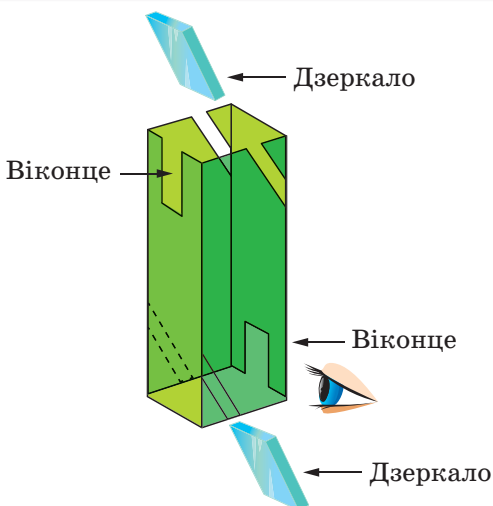
ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Як треба розташувати предмет і лупу, щоб бачити крізь лупу збільшене зображення цього предмета?
2. Які принципи дії мікроскопа й телескопа?
3. Назвіть відомі вам прилади, у яких застосовуються лінзи.

Я вмію досліджувати й експериментувати

Перископ своїми руками. Для виготовлення перископа вам знадобляться ножиці, два дзеркала й висока картонна коробка (мал. 154).



Мал. 154

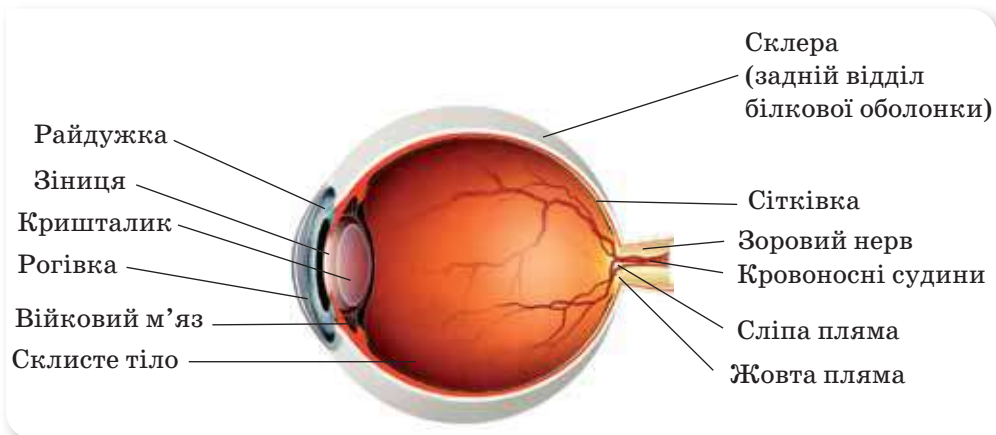
§ 21

Око як оптичний прилад. Зір і бачення. Вади зору та їх корекція. Окуляри

Зір і бачення. За підрахунками вчених, близько 90 % усієї інформації про зовнішній світ людина отримує завдяки зору. Зір забезпечує сприйняття кольору й форми різноманітних предметів, відстані до них, їхнього взаємного розташування у просторі та рухів.

У цьому параграфі з'ясуємо, чому око людини можна вважати оптичним приладом. Щоб краще засвоїти матеріал, варто пригадати відомості з курсу біології 8-го класу про зорову сенсорну систему.

Розглянемо малюнок 155, на якому зображено будову ока людини.



Мал. 155. Будова ока людини

Оптичні властивості ока можна порівняти з фотоапаратом, а процеси, що відбуваються в сітківці — з фотолабораторією.

Світло, що потрапляє в око, проходить крізь рогівку, водянисту рідину, кришталік і склисте тіло, які по суті являють собою **оптичну систему ока**. Діючи як збиральна двоопукла лінза, оптична система ока заломлює світло, і на сітківці ока утворюється дійсне, зменшене, перевернуте зображення предметів (мал. 156, с. 100).

Фокусною відстанню ока називається відстань від центра кришталіка до сітківки. У більшості людей вона становить 17 мм. Тоді оптична сила

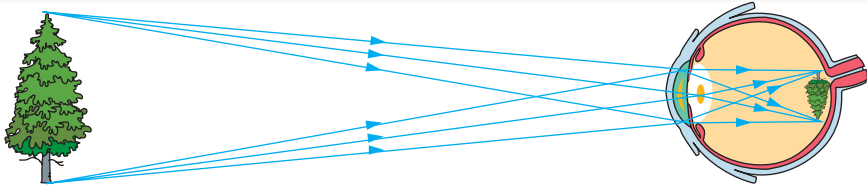
$$\text{ока: } D = \frac{1}{0,017} = 59 \text{ дптр.}$$

Ви дізнаєтесь

- Чому око вважають оптичним приладом

Пригадайте

- Що вивчали на уроках біології про око людини



Мал. 156. Зображення, що утворюється на сітківці ока

Світло, що утворює зображення, є подразником зорового нерва. За допомогою нервових волокон подразнення передаються в мозок. Мозок «перевертає» зображення, тому предмети сприймаються як прямі.

Людина може одночасно розглядати предмети за допомогою двох очей, тобто має бінокулярний зір (більшість тварин дивляться кожним оком окремо). Завдяки бінокулярному зору ми бачимо предмети об'ємними, можемо оцінювати, які предмети розташовані далі, а які — ближче до нас.

Ми бачимо предмети чіткими, хоч вони можуть перебувати на різних відстанях. Завдяки спеціальним м'язам змінюється фокусна відстань оптичної системи ока, що й дає можливість чітко бачити предмети, які перебувають на різних відстанях. Цю властивість ока називають **акомодацією** (від латинського слова, що означає пристосування).

Відстань найкращого бачення для нормального ока — близько 25 см, при цьому око не напружується й не так швидко стомлюється.

Завдяки зіниці можна регулювати інтенсивність світлового потоку, що потрапляє на сітківку. Зіниця звужується в разі посилення інтенсивності світла й розширюється в разі ослаблення. Здатність ока пристосовуватись до різної яскравості предметів називається **адаптацією**.

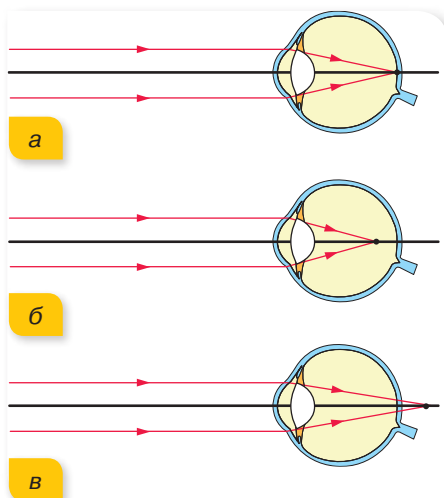
Для людського ока притаманне таке явище, як **інерція зору**. Зорові відчуття не зникають відразу після припинення дії подразника, а зберігаються у свідомості людини ще приблизно 0,1 с.

Зорову інерцію широко використовують в анімаційному кіно. Картинки на екрані дуже швидко (24 кадри за секунду) змінюють одна одну, під час їхньої зміни екран не освітлюється, але глядач цього не помічає — він просто бачить неперервну зміну кадрів.

Вади зору. Окуляри. Чітке зображення предметів має одержуватись на сітківці ока (мал. 157). Але через різні причини оптична система ока може дещо змінитися — зменшується або збільшується її фокусна відстань, що призводить до виникнення короткозорості чи далекозорості.

Короткозорість — вада зору, у разі якої фокус оптичної системи ока розташований перед сітківкою.

Відстань найкращого зору в разі короткозорості менша від 25 см. Зображення на сітківці від віддалених предметів утворюється нечітким. Саме тому короткозора людина, щоб роздивитися предмет у руках, підносить його близько до очей. Короткозорість коригується носінням окулярів з розсіювальними лінзами, завдяки чому фокусна відстань ока зростає.



Мал. 157. Отримання зображення:
 а — нормальне (здорове око);
 б — перед сітківкою (короткозорість);
 в — за сітківкою (далекозорість)

Далекозорість — це вада зору, у разі якої фокус оптичної системи ока розташований за сітківкою.

Відстань найкращого зору в разі далекозорості більша за 25 см, тому, роздивляючись предмет, людина відсуває його від очей. Далекозорість коригується носінням окулярів зі збиральними лінзами.

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Опишіть будову ока та призначення його окремих елементів.
2. Які характеристики має зображення, що виникає на сітківці ока?
3. Чому при різних відстанях від ока предметів їхні зображення на сітківці одержуються чіткими?
4. Які вади зору ви знаєте, чим вони пояснюються? Як ці недоліки усуваються?

§ 22

Сила світла й освітленість

Енергетичні та фотометричні характеристики світла. У цьому параграфі йтиметься про енергетичні характеристики світла. Енергія світла, яка передається навколишнім тілам, може перетворюватись на теплову, хімічну, електричну. Наше око також є приймачем енергії світла, яка й створює зорові відчуття. Саме тому енергетичні характеристики світла ґрунтуються на безпосередньому сприйнятті світла оком людини, тобто на зоровому відчутті.

Ви дізнаєтесь

- Чому взимку Сонце світить, а не гріє

Пригадайте

- Що таке світло

Розрізняють енергетичні величини, що характеризують будь-яке випромінювання та відповідні їм фотометричні величини, які враховують зорові відчуття людини.

Енергетична величина	Одиниця величини	Фотометрична величина	Позначення	Одиниця величини
Енергія випромінювання	Дж	Світлова енергія	W	лм·с (люмен на секунду)
Потік випромінювання (потужність випромінювання)	Вт	Світловий потік	Φ	лм (люмен)
Поверхнева густина потоку випромінювання	Дж/м ²	Освітленість	E	лк (люкс)
Сила випромінювання	Вт/ср ¹	Сила світла	I	кд (кандела)
Енергетична яскравість	Вт/(ср·м ²)	Яскравість	L	кд/м ²

Розглянемо їх детальніше.

Світловий потік. Кожне джерело світла випромінює видиме світло у навколишній простір. Щоб оцінити, яка кількість світлової енергії надходить від джерела на відповідну поверхню за певний інтервал часу, вводять поняття світлового потоку.

Світловий потік, Φ — це фізична величина, яка визначається кількістю світлової енергії (за зоровим відчуттям), що потрапляє на

поверхню за одиницю часу: $\Phi = \frac{W}{t}$.

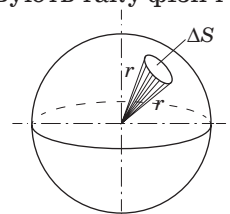
Одиницею світлового потоку є 1 люмен (1 лм).

Світловий потік від нічного зоряного неба, що потрапляє на зіницю ока, становить всього $\Phi = 0,00000001$ лм, а від полуденного Сонця — $\Phi = 8$ лм.

Світловий потік, як і потік енергії, можна вимірювати у ватах, оскільки він фактично визначає потужність випромінювання, яке потрапляє на певну поверхню. Проте чутливість нашого ока залежить від кольору світла. Так, наприклад, потік оранжевих променів потужністю 1 Вт створює зорове відчуття такої самої інтенсивності, як потік зелених променів потужністю 0,5 Вт. Експериментально встановлено, що світловому потоку хвиль зеленого кольору в 1 лм відповідає потужність 0,0016 Вт. Установити універсальну залежність між ватом і люменом не вдається.

Сила світла. Деякі джерела світла випромінюють світло рівномірно в усі боки, наприклад Сонце, а от прожектор чи ліхтарик випромінюють світло в певному напрямку. Для оцінки просторового розподілу світлового потоку, що випромінюється джерелом світла, застосовують таку фізичну величину, як сила світла.








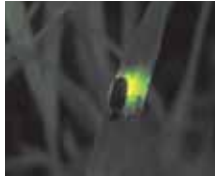
¹ ср — *стерадіан*, одиниця тілесного кута, який визначається відношенням площі ΔS до квадрата радіуса r сфери.



Сила світла, I — фізична величина, яка визначає величину світлового потоку в певному напрямку. Якщо джерело випромінює видиме світло рівномірно в усі боки, то сила світла обчислюється за формулою: $I = \frac{\Phi}{4\pi}$.

Одиницею сили світла є 1 кандела (1 кд). Вона належить до основних одиниць Міжнародної системи одиниць (СІ).

У таблиці наведено значення сили світла деяких джерел.

Джерело світла	Сила світла, кд	Джерело світла	Сила світла, кд
Сонце 	$\approx 3 \cdot 10^{27}$ кд	Прожектор 	$\approx 8 \cdot 10^8$ кд
Маяк 	$\approx 1 \cdot 10^5$ кд	Фара автомобіля (дальнє світло) 	$\approx 12\,000$ кд
Фара велосипеда 	≈ 60 кд	Лампочка ліхтарика 	$\approx 0,5 - 3$ кд
Свічка 	$\approx 0,5 - 2$ кд	Світлячок 	$\approx 0,01 - 0,001$ кд

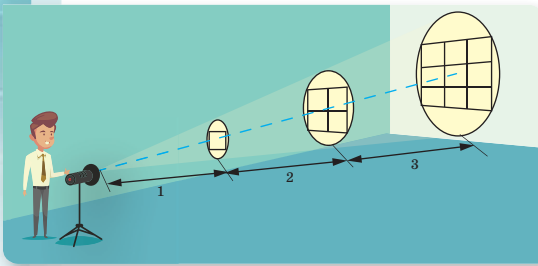
Освітленість. Робоче місце кожної людини, особливо школяра, має бути достатньо освітленим. Усім відомо, наприклад, що читання при недостатньому освітленні швидко втомлює. Втома настає і за надмірного освітлення робочого місця. Але недостатнє й надмірне освітлення — це неточні поняття. Щоб схарактеризувати, як освітлена поверхня, використовують поняття освітленості.

Освітленість, E — це фізична величина, яка показує, який світловий потік падає на одиницю поверхні: $E = \frac{\Phi}{S}$.

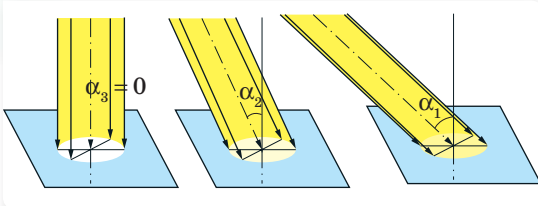
Одиницею освітленості є 1 люкс (1 лк).

Наші очі пристосовуються до різної освітленості. Сонячного дня на відкритій місцевості освітленість може сягати до 100 000 лк, а вночі при повному Місяці усього 0,2 лк. Для комфортного читання книги необхідна освітленість 60 лк.

Кожен з вас певним чином змінював освітленість свого робочого місця. Що ви для цього робили? Нахилили лампу нижче до поверхні стола, або встановлювали її під певним кутом, а може, змінювали лампу на іншу — більш потужну? У будь-якому випадку вам вдалося змінити освітленість. З'ясуємо чому.



Мал. 158. Залежність освітленості поверхні від відстані до джерела



Мал. 159. Освітленість залежить від кута падіння променів

Якщо збільшити відстань у 2 рази, то поверхня, що освітлюється, збільшиться в 4 рази.

Нехай, наприклад, світловий потік від точкового джерела падає на екран (мал. 158).

На одиничній відстані точкове джерело освітлює одиничну поверхню.

Якщо збільшити відстань у 2 рази, то поверхня, що освітлюється, збільшиться в 4 рази.

Якщо збільшити відстань у 3 рази, то освітлювана поверхня збільшиться у 9 разів.

Відповідно при збільшенні площі освітлюваної поверхні освітленість буде зменшуватися.

Освітленість змінюється й у разі, якщо світло падає на поверхню під різними кутами (мал. 159).

У випадку перпендикулярного падіння променів освітлюється певна площа поверхні. Якщо відхилити промені від вертикального напрямку,

то збільшується площа освітленої поверхні. Отже, освітленість зменшується.

Враховуючи, що $E = \frac{\Phi}{S}$, дійдемо висновку, що освітленість поверхні точковим джерелом світла обернено пропорційна квадрату відстані від джерела до цієї поверхні й залежить від кута падіння світлового променя.

У випадку точкового джерела світла $E = \frac{I \cos \alpha}{r^2}$, де I — сила світла,

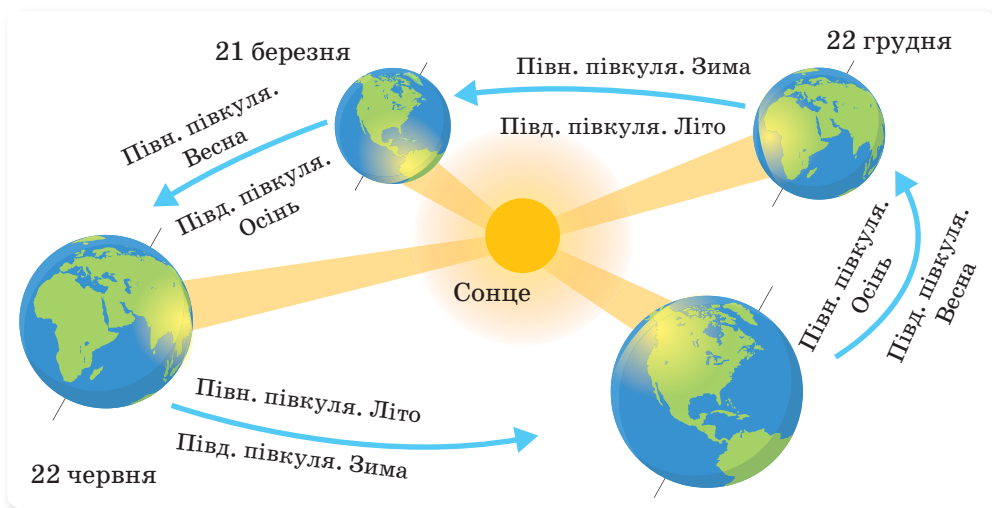
r — відстань від джерела світла до освітленої поверхні, α — кут між

перпендикуляром до поверхні й напрямком поширення світлового променя.

Якщо поверхня розташована перпендикулярно до напрямку поширення світла на відстані r від точкового джерела, сила світла якого I , то формула набуває вигляду: $E = \frac{I}{r^2}$.

У цьому ви переконаєтеся щодня. Уранці й увечері сонячні промені падають на поверхню Землі під найбільшим кутом, тому слабо її освітлюють і нагрівають. У полудень, коли сонячні промені майже перпендикулярно падають на земну поверхню, вона отримує значно більше світла й тепла.

Унаслідок одержання різної кількості сонячної енергії змінюються пори року на Землі (мал. 160).



Мал. 160. Обертання Землі навколо Сонця

Закони освітленості:

1. З віддаленням джерела освітленість зменшується обернено пропорційно квадрату відстані.
2. Освітлюваність, яку створюють кілька джерел світла в деякій точці поверхні, дорівнює сумі освітленостей, створюваних кожним джерелом окремо.

Переконайтесь у виконанні цього закону ви також можете самостійно. Цю властивість використовують світлотехніки під час освітлення сцени (мал. 161).



Мал. 161. Освітлення сцени декількома прожекторами

ФОРМУЄМО СВОЮ КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. Що називають світловим потоком? Силою світла? Освітленістю?
2. Як можна збільшити освітленість певної поверхні?
3. Чому на екваторі завжди тепліше, ніж у середніх широтах, де ми живемо?
4. За яких умов утворюються льодяні бурульки на дахах будинків?



Вчимося розв'язувати задачі

Задача 1. Обчисліть повний світловий потік, що його випромінює лампа розжарювання, сила світла якої дорівнює 30 кд. Яка потужність лампи?

Дано:

$$I = 30 \text{ кд}$$

$$\Phi = ?$$

$$P = ?$$

Розв'язання:

Вважаємо, що лампа розжарення випромінює світло рівномірно в усі боки.

З формули $I = \frac{\Phi}{4\pi}$ виражаємо $\Phi = 4\pi I$.

Визначаємо значення шуканої величини: $\Phi = 4 \cdot 3,14 \cdot 30 = 376,8 \text{ лм}$.

Скориставшись порівняльною таблицею значень потужностей і повного світлового потоку, бачимо, що світловий потік 376,8 лм забезпечує лампа потужністю 40 Вт.

Відповідь: $\Phi = 376,8 \text{ лм}$, $P = 40 \text{ Вт}$.

Задача 2. Стіл освітлений лампою, розташованою на висоті 1,2 м прямо над столом. Визначте освітленість столу під лампою, якщо повний світловий потік лампи становить 750 лм. Лампу вважайте точковим джерелом.

Дано:

$$r = 1,2 \text{ м}$$

$$\Phi = 750 \text{ лм}$$

$$E = ?$$

Розв'язання:

Оскільки джерело світла вважаємо точковим і стіл розташований перпендикулярно до напрямку поширення

світла, то можемо скористатись формулою: $E = \frac{I}{r^2}$.

Лампа поширює світло в усі боки, тому $I = \frac{\Phi}{4\pi}$.

Підставляючи вираз для сили світла в першу формулу, отримуємо:

$$E = \frac{\Phi}{4\pi r^2}$$

Визначимо значення шуканої величини: $E = \frac{750 \text{ лм}}{4 \cdot 3,14 \cdot 1,2^2 \text{ м}^2} = 41,5 \text{ лк}$.

Відповідь: $E = 41,5 \text{ лк}$.



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 14

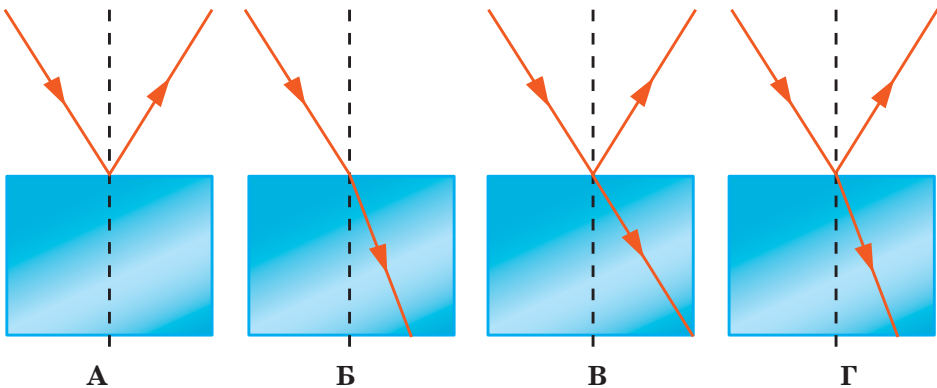
- Сила світла точкового джерела становить 100 кд. Визначте повний світловий потік, що його випромінює джерело.
- Повний світловий потік електричної лампи дорівнює 1884 лм. Визначте силу світла цього джерела.
- У ясний полудень освітленість поверхні Землі під прямими сонячними променями становить 100 000 лк. Визначте світловий потік, що падає на ділянку площею 100 см².
- На який кут треба відхилити площину, щоб її освітленість зменшилася удвічі порівняно з освітленістю площини під час перпендикулярного падіння променів?
- Визначте освітленість від електричної лампи потужністю 60 Вт, що розташована на відстані 2 м. Чи досить цієї освітленості для читання книги?
- Дві однакові електролампи, що розміщені поряд, освітлюють екран. Відстань від ламп до екрана 1 м. Одну лампу вимкнули. На яку відстань слід наблизити екран, щоб його освітленість не змінилась?
- Визначте освітленість поверхні Землі, що створюється перпендикулярними сонячними променями. Яскравість Сонця $1,2 \cdot 10^9$ кд/м², відстань від Землі до Сонця $1,5 \cdot 10^8$ км, радіус Сонця $7 \cdot 10^5$ км.
- Перегорілу лампу на 75 кд замінили лампою на 25 кд і наблизили її до освітлюваної поверхні, зменшивши відстань утричі. Чи було досягнуто попередньої освітленості поверхні?
- Ліхтар для освітлення вулиці, сила світла якого 500 кд, висить на стовпі на висоті 3 м від поверхні землі. Визначте освітленість поверхні землі на відстані 4 м від основи стовпа.
- За інформацією поданою у таблиці складіть і розв'яжіть задачі.

Показники	Лампа розжарювання	Галогенна лампа	Енергозберігаюча (люмінесцентна)	Світлодіодна (LED)
				
Нагрівання	Сильне	Сильне	Середнє	Слабке
Потужність, Вт	75	45	15	10
Світловий потік, лм	700	700	700	800
Термін служби, год	1000	2300	8000	50 000

Перевірте себе

Рівень А (початковий)

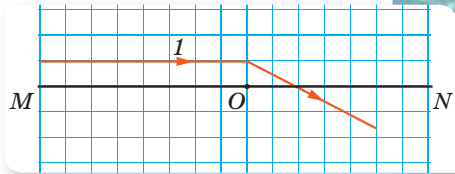
- Укажіть рядок, у якому наведено лише теплові джерела світла.
 - А екран дисплея, електрична лампа розжарювання
 - Б світлячок, світлодіод
 - В зорі, Місяць
 - Г електрокамін, Сонце
- Розкладання білого світла на сім спектральних кольорів скляною тригранною призмою називається...
 - А фокусом
 - Б дисперсією
 - В діоптрією
 - Г акомодациєю
- Оптичний центр лінзи — це точка...
 - А у якій перетинаються всі промені
 - Б через яку будь-який промінь проходить без заломлення
 - В у якій перетинаються промені, що йшли паралельно головній оптичній осі
 - Г у якій фокусується зображення
- Промінь світла падає з повітря на поверхню скла. Укажіть малюнок, на якому правильно відображені явища, що відбуваються зі світлом на межі цих середовищ.



- Укажіть рядок із характеристиками зображення предмета, що розміщений між фокусом та подвійним фокусом збиральної лінзи.
 - А уявне, збільшене, пряме
 - Б дійсне, зменшене, перевернуте
 - В дійсне, збільшене, перевернуте
 - Г уявне, зменшене, пряме
- Укажіть значення оптичної сили лінзи, фокусна відстань якої становить 40 см.
 - А 0,025 дптр
 - Б 2,5 дптр
 - В 4 дптр
 - Г 40 дптр

Рівень В (середній)

- Швидкість світла при переході з більш оптично густого середовища в менш оптично густе...
 - зменшується
 - збільшується
 - не змінюється
 - спочатку збільшується, а потім зменшується
- Установіть відповідність між кольором предмета та причиною, що його зумовлює.

А білий папір	1 пропускає промінь жовтого кольору
Б чорний портфель	2 відбиває промінь зеленого кольору, інші поглинає
В зелене листя	3 відбиває світлові промені всіх кольорів
Г жовта скляна пластинка	4 поглинає світлові промені всіх кольорів
	5 поглинає промінь жовтого кольору
- На малюнку показана головна оптична вісь MN лінзи, її оптичний центр O і хід променя, що падає на лінзу паралельно головній оптичній осі. Розмір сторони клітинки — 10 см. Оберіть правильне твердження.
 
 - лінза є розсіювальною
 - оптична сила лінзи — 6 дптр
 - якщо предмет розташувати на відстані 10 см від лінзи, то вона дасть дійсне зображення цього предмета
 - промінь перетинає головну оптичну вісь у фокусі лінзи
- На якій висоті над столом потрібно повісити лампу на 100 кд, щоб освітленість зошита під нею становила 25 лк?

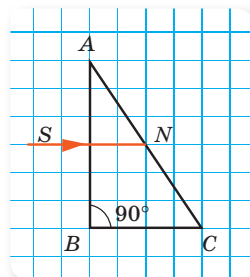
А 2 м	Б 3 м	В 4 м	Г 5 м
-------	-------	-------	-------

Рівень С (достатній)

- Промінь падає на поверхню поділу двох прозорих середовищ під кутом 35° і заломлюється під кутом 25° . Яким буде кут заломлення, якщо промінь буде падати під кутом 50° ?
- На відстані 48 см від лінзи розташований предмет. Яка фокусна відстань цієї лінзи, якщо дійсне зображення предмета утворилось на відстані 96 см від лінзи?
- Освітленість поверхні класної дошки згідно із нормами має становити 150 лк. Визначте світловий потік, який має падати для цього на дошку, площа поверхні якої становить $1,92 \text{ м}^2$.

Рівень D (високий)

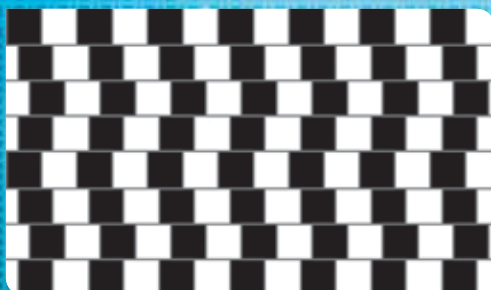
- На горизонтальному дні водойми, глибина якої 1,2 м, лежить плоске дзеркало. Промінь світла падає на поверхню води під кутом 30° . На якій відстані від місця падіння цей промінь вийде з води після відбивання від дзеркала? Показник заломлення води — 1,33.
- Промінь SN падає на прямокутну скляну призму перпендикулярно до грані AB (мал. 162). Заломиться промінь на грані AC чи знає повного відбиття, якщо $\angle BAC = 30^\circ$?



Мал. 162

ВИКОНЦЕМО НАВЧАЛЬНІ ПРОЕКТИ

«Ми дивимось не очима, а мозком», — говорять фізіологи. Дійсно, зорові сприйняття керуються мозком. І так звані «оптичні ілюзії» — це не омани зору, а хибні розмірковування. Оптичні ілюзії бувають настільки правдоподібними, що буквально «не віриш власним очам»! Важко повірити, наприклад, що центральні кружечки на малюнку однакового радіуса й що горизонтальні лінії — паралельні!



Про ці та інші цікаві й незвичайні факти, що пов'язані зі сприйняттям зображень, ви дізнайтесь, виконуючи навчальний проект

«ОПТИЧНІ ІЛЮЗІЇ»

Потішити себе або молодшого братика чи сестричку ви зможете, виготовивши своїми руками цікаву забавку (наприклад, калейдоскоп) під час виконання навчального проекту

«СКЛАДАННЯ НАЙПРОСТІШИХ ОПТИЧНИХ ПРИЛАДІВ»



Розділ 3

МЕХАНІЧНІ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ



Чи задумувались ви над тим, завдяки чому люди набули таких можливостей спілкування та отримання інформації, як у наш час? Чи могли ваші дідусі та бабусі уявити собі, що можна буде будь-якої хвилини зв'язатися з близькими, що живуть на іншому континенті? Або прочитати будь-яку книжку, не йдучи до бібліотеки, чи купити річ, не виходячи з дому? Або побачити, що відбувається в іншій частині світу просто зараз? Усе це стало можливим завдяки досягненням у фізиці, а саме — експериментальному відкриттю електромагнітних хвиль, які можуть поширюватись у просторі. Вивчаючи цей розділ, ви навчитесь розпізнавати механічні й електромагнітні хвилі, класифікувати їх, описувати їхні властивості та галузі практичного використання.

§23

Виникнення та поширення
механічних хвиль

Ви дізнаєтесь

- Як утворюються механічні хвилі

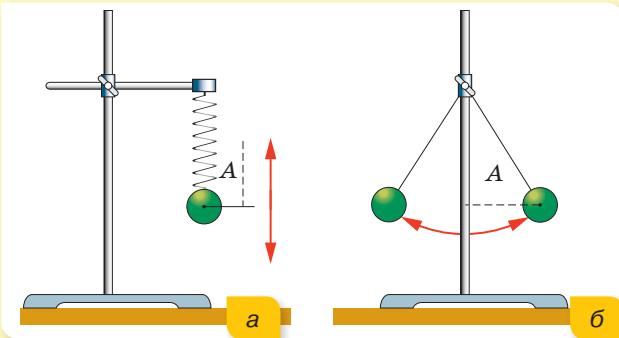
Пригадайте

- Що таке коливання

Механічні коливання. У 7 класі ми розглядали механічні коливання, які не виходили за межі коливної системи, наприклад, коливання маятників. У повсякденному житті частіше доводиться мати справу з коливаннями, які передаються від однієї системи до іншої, тобто з хвильовим рухом. Наприклад, коливання поплавка передаються частинкам води, і ви бачите хвилі на поверхні води. Щоб краще зрозуміти хвильові процеси, пригадаймо, що нам відомо про механічні коливання.

Механічні коливання — це такий рух, під час якого положення та швидкість руху тіла (точки) повторюються через певні інтервали часу. При цьому такі повторення можуть здійснюватися періодично або неперіодично. Для періодичних коливань існують певні закономірності, які можна дослідити за допомогою коливальних систем (маятників): пружинного (мал. 163, а) і нитяного (мал. 163, б).

Колівання можуть бути вільними й вимушеними, згасаючими й незгасаючими. Спробуйте самостійно дати їм визначення.



Мал. 163. Маятники:
а — пружинний;
б — нитяний

Для опису коливального руху використовують фізичні величини:

- амплітуду коливань, A — це максимальне відхилення тіла від положення рівноваги;
- період коливань, T — час одного повного коливання;
- частоту коливань, ν — кількість коливань за одиницю часу.

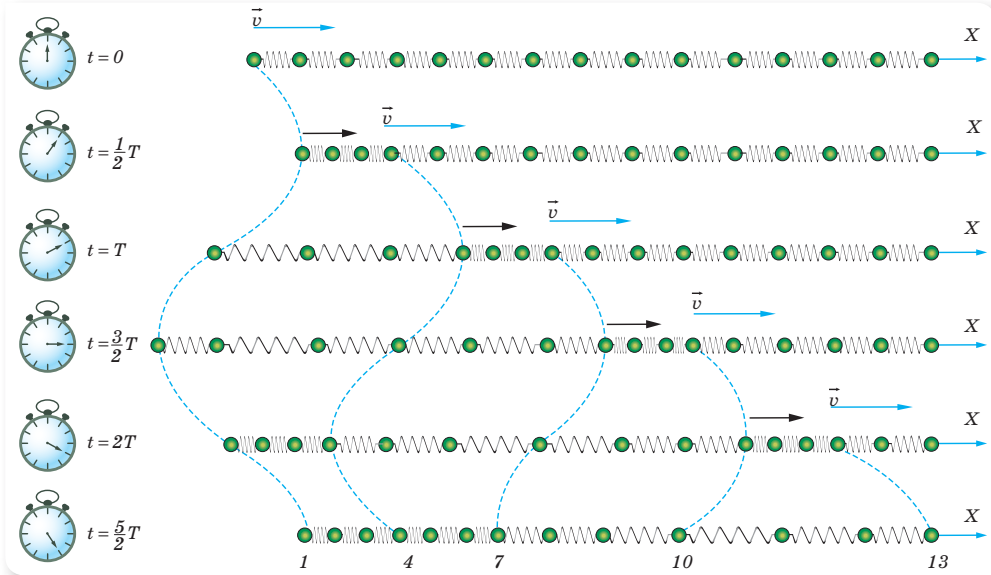
Одиницями періоду та частоти коливань у СІ відповідно є секунда (с) і герц (Гц).

Зв'язок між періодом коливань та частотою коливань: $\nu = \frac{1}{T}$.

Механізм поширення коливань. Дослідимо випадки, коли коливання можуть передаватися за межі коливної системи й поширюватися в середовищі. Для цього скористаємося моделлю пружного середовища —

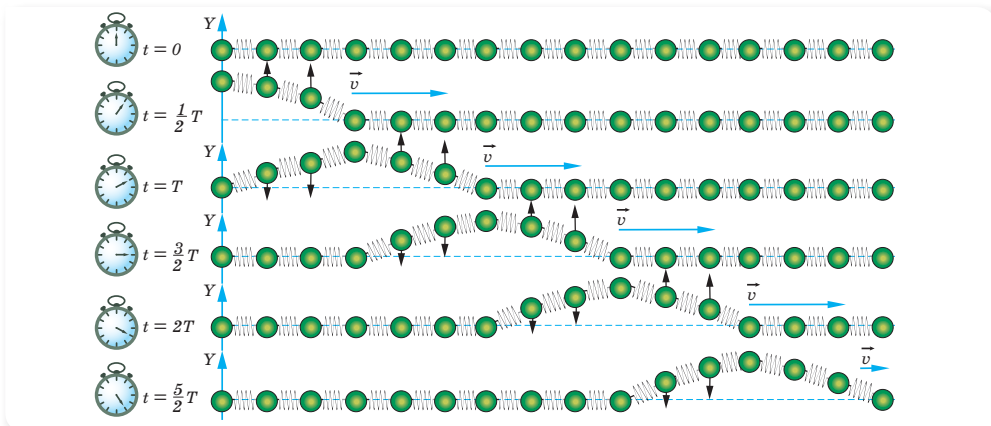
сукупністю кульок, що пружно зв'язані між собою (мал. 164). Така модель відтворює внутрішню будову речовини, що складається з атомів і молекул, які безперервно й хаотично рухаються та взаємодіють між собою.

Якщо штовхнути крайню ліву кульку вздовж ряду кульок вправо, то вона почне коливатися сама і спричинить коливальний рух сусідньої кульки, яка, у свою чергу, передасть коливальний рух наступній, і т.д. (мал. 164). У результаті всі кульки почнуть коливатися, але коливальний рух кожної наступної кульки почнеться дещо пізніше, ніж попередньої.



Мал. 164. Моделювання процесу утворення механічної хвилі

Також можна змусити кульки коливатися, якщо змістити першу кульку від положення рівноваги не в горизонтальному, а у вертикальному напрямку, наприклад поштовхом уверх (мал. 165).



Мал. 165. Моделювання процесу утворення механічної хвилі

У цьому разі виведена зі стану рівноваги кулька також змусить рухатися сусідні кульки за рахунок пружного зв'язку з ними. Оскільки коливання першої кульки передаються іншим не миттєво, а протягом деякого часу, то коливання наступних кульок починається з деяким запізненням.

Розглянуті процеси поширення механічних коливань у пружному середовищі називають *хвильовим процесом*, або просто *хвилею*.

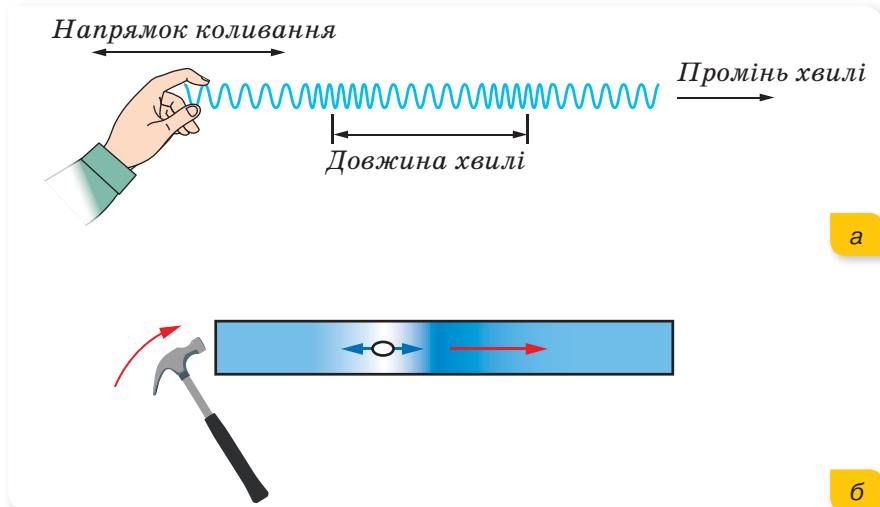
Механічна хвиля — процес поширення коливань у пружному середовищі з плином часу.

Для утворення й існування механічної хвилі необхідно:

- наявність джерела, тобто тіла, що коливається;
- наявність пружного середовища, що передає взаємодію частинок середовища між собою.

Види хвиль. Розглянуті нами механізми утворення механічних хвиль демонструють повздовжню (мал. 164, с. 113) і поперечну (мал. 165, с. 113) хвилі.

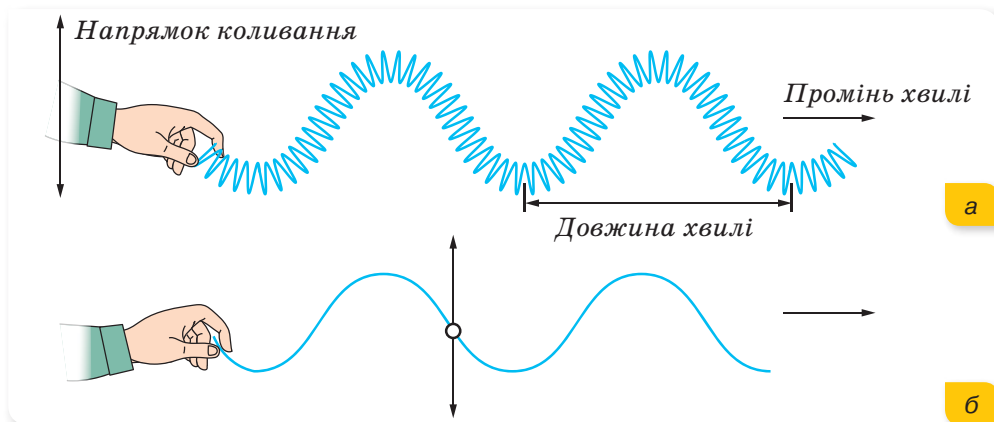
Повздовжня хвиля утворюється, якщо коливання частинок середовища відбуваються в напрямку поширення хвилі (мал. 166, *а*) (напрямок поширення хвилі називають *променем хвилі*). Повздовжні хвилі виникають у середовищах, де можливі пружні деформації стиску та розтягу. Прикладом повздовжньої механічної хвилі є звук. На малюнку 166, *б* зображено поширення звуку від удару молотка по металевому стержню.



Мал. 166. Повздовжня хвиля: *а* — моделювання процесу; *б* — приклад поширення звуку в металевому стержні

Повздожніми називаються хвилі, коливання частинок у яких відбуваються вздовж променя хвилі.

Поперечні хвилі (мал. 167, а) виникають у середовищах, де можливі пружні деформації зсуву (у твердих тілах і в поверхневих шарах рідин). Прикладом такої хвилі є хвиля, утворена внаслідок коливання шнура (мал. 167, б). У поперечній хвилі частинки коливаються у площинах, перпендикулярних до напрямку поширення хвилі.



Мал. 167. Поперечна хвиля: а — моделювання процесу; б — приклад поперечної хвилі (коливання шнура)

Поперечними називаються хвилі, коливання частинок у яких відбуваються перпендикулярно до променя хвилі.

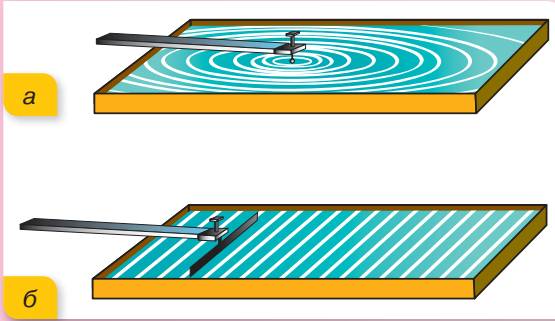
У газах і рідинах виникають лише повздожні хвилі, які є чергуванням розріджень і згущень середовища. У твердих тілах можливі як повздожні, так і поперечні пружні хвилі. Іншими словами, повздожні хвилі можуть поширюватися в будь-якому середовищі, поперечні — тільки у твердому середовищі.

Характеристики хвильового процесу. Характеризуючи хвильовий процес, ми використовували такі поняття, як джерело коливань, промінь хвилі, період й амплітуду коливань. З'ясуємо, які ще поняття та величини використовуються для опису хвильових процесів.

Як для тіла, що змінює своє положення в просторі з часом, так і для процесу коливань використовують поняття швидкості. У випадку переміщення тіла ми вважали тіло матеріальною точкою й говорили про швидкість руху не всього тіла, а фіксованої точки або конкретизували, рух якої точки тіла нас цікавить: швидкість кінця стрілки, точки на ободі тощо.

У випадку хвильового процесу швидкість поширення хвилі розглядають як швидкість поширення її фронту.

Фронт хвилі — це поверхня, до якої на певний момент часу дійшли коливання. Від точкового джерела в однорідному середовищі поширюються сферичні хвилі, фронтом такої хвилі є сфера (мал. 168, а). Від протяжного джерела (пластини) у середовищі поширюється плоска хвиля, фронт якої — площина (мал. 168, б).



Мал. 168. Ванночки з водою для демонстрації :
а — сферичної хвилі;
б — плоскої хвилі

Швидкість поширення хвилі (v) — це швидкість поширення її фронту.

Швидкість поширення механічної хвилі залежить від пружних властивостей і густини середовища. В однорідному середовищі від точки, яка коливається, коливання поширюються в усіх напрямках зі сталою швидкістю.

Якщо розглянути малюнки 166, а (с. 114) і 157, а (с. 115), то бачимо, що на них відмічені певні ділянки хвилі, які називають довжиною хвилі. Позначають довжину хвилі грецькою літерою λ , читається лямбда.

Довжина хвилі (λ) — це відстань, на яку поширюється хвиля протягом одного періоду коливань.

Очевидно, що довжина хвилі (λ), її швидкість (v) і період коливань джерела хвилі (T) пов'язані співвідношенням: $\lambda = vT$.

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Поясніть механізм утворення пружних механічних хвиль.
2. Чим відрізняються повздовжня й поперечна хвилі? У яких середовищах можуть поширюватися повздовжні хвилі, а в яких — поперечні?
3. Що називають довжиною хвилі?
4. Від чого залежить швидкість поширення хвилі у пружному середовищі?
5. Що таке фронт хвилі?



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 15

1. Розгляньте малюнок 169. У якому випадку можливі коливання? Які з них можуть бути вільними, а які — вимушеними?



Мал. 169

2. Рибалка помітив, що за 10 с поплавок зробив на хвилях 20 коливань, а відстань між сусідніми гребенями хвиль дорівнює 1,2 м. Яка швидкість поширення хвиль?
3. Відстань між гребенями хвиль у морі дорівнює 5 м. Коли катер іде проти хвилі, то вона за 1 с ударяється об його корпус 4 рази, а коли за хвилину — двічі. Визначте швидкість руху катера та швидкість поширення хвилі.

§24

Звукові хвилі. Швидкість поширення звуку

Утворення звукових хвиль. Від 70 до 90 % інформації про навколишній світ людина отримує завдяки зору і близько 10 % — завдяки слуховим відчуттям. Вивчаючи розділ «Світлові явища», ми з'ясували, як людина бачить навколишній світ. З'ясуємо, що таке звук і як людина чує навколишній світ.

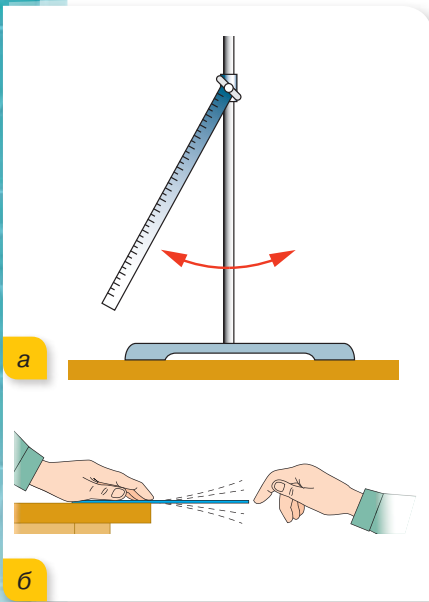
Як уже було згадано в попередньому параграфі, звук — це механічні хвилі, що поширю-

Ви дізнаєтесь

- Які хвилі людина сприймає як звук

Пригадайте

- Механізм утворення хвиль



Мал. 170. Коливання лінійки:
 а — без утворення звукових хвиль;
 б — як джерела звукових хвиль

ються у пружному середовищі. В умовах вакууму, наприклад у космосі, звук не поширюється, тому що там відсутні частинки, які й розповсюджують звукові хвилі.

Звукова хвиля (або просто звук) виникає завдяки механічним коливанням різних тіл. Проте не будь-які механічні коливання створюють звук. Наприклад, розглянуті нами в попередньому параграфі коливання маятників не створюють звуку. Не створюватиме звуку й довга сталеві лінійка, якщо вона коливатиметься, будучи закріпленою на штативі (мал. 170, а) або затиснутою на краю стола. Проте якщо вкоротити виступаючий кінець лінійки (мал. 170, б), то ми виявимо, що лінійка почне звучати. Справа тут ось в чому. Сталева лінійка, що коливається, стискає шар повітря, яке прилягає до одного з її боків, і водночас створює розрідження з іншого боку. Ці стиснення й розрідження чергуються та поширюються в обидва боки у вигляді повздовжньої хвилі. При цьому що коротшою є вільна (коливна) частина лінійки, то частіше будуть коливання. Якщо

кількість коливань стає більшою за 16 разів за секунду (від 16 до 20 000 Гц), то такі коливання ми чуємо.

Звукові хвилі (звук) — це повздовжні механічні хвилі частотою від 16 до 20 000 Гц, що поширюються в пружному середовищі й сприймаються органами слуху людини.

Швидкість поширення звуку. Звукові хвилі, як і всі інші хвилі, поширюються з кінцевою швидкістю. Швидкість поширення звукових хвиль називається *швидкістю звуку*. Вам неодноразово доводилось помічати, що блискавку видно раніше, ніж чути гуркіт грому; спочатку видно спалах від пострілу, а через певний час чути й звук, тобто на поширення звукових коливань від джерела до ваших органів слуху потрібно більше часу, ніж на поширення світла.

Уявлення про скінченну величину швидкості звуку на основі спостереження за явищем луни та затримкою появи звуку після пострілу гармати сформувався досить давно. Саме ці явища стали підґрунтям для перших спроб вимірювання швидкості звуку в повітрі. Декілька ретельно організованих дослідів з вимірювання швидкості звуку було проведено у Флорентійській академії дослідів до 1660 р. Одержане значення швидкості звуку $350 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ залишалось еталоном для експериментаторів більш як століття. Слід відзначити, що ці вимірювання не враховували зміну ста-

ну атмосфери (температуру, тиск, вологість, швидкість вітру). Вивчення впливу цих факторів почалося лише в XIX ст. У 1822 р. за допомогою дослідів Франсуа Араго, Гаспар де Проні й Жозеф Гей-Люссак встановили, що в повітрі за температури $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ швидкість поширення звуку дорівнює $337,2\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

У воді швидкість поширення звуку є більшою, ніж у повітрі. Уперше її виміряли в 1827 р. на Женевському озері у Швейцарії. На одному човні запалювали порох і синхронно вдарили в підводний дзвін. Другий човен був на відстані 14 км від першого. Звук уловлювали за допомогою опущеного у воду рупора. За різницею часу між спалахом світла (початком поширення звукової хвилі) й надходженням звукового сигналу визначали швидкість поширення звуку. За температури $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ швидкість поширення звуку у воді дорівнює $1435\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Як бачимо, швидкість звуку залежить від середовища, у якому він поширюється, та від температури цього середовища.

У таблиці наведено швидкості поширення звукових хвиль у деяких середовищах.

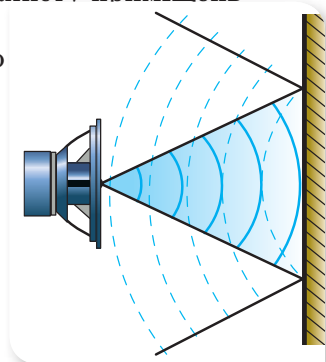
Тверде тіло	$v, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	Рідина (за $20\text{ }^{\circ}\text{C}$)	$v, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	Газ (за $0\text{ }^{\circ}\text{C}$)	$v, \frac{\text{м}}{\text{с}}$
залізо	5850	вода морська	1451	повітря	331
лід	3980	ртуть	1451	кисень	316
скло	5990	спирт	1180	водень	1284

У рідинах (за винятком води) з підвищенням температури швидкість поширення звуку зменшується, а в газах за незмінного тиску швидкість поширення звуку з підвищенням температури збільшується. Спробуйте самостійно пояснити, чому так відбувається.

Є матеріали, які погано проводять звук, оскільки коливання в них швидко загасають. Такі матеріали, як, наприклад, пористі панелі, пінопласт, використовують для звукоізоляції, тобто для захисту приміщень від проникнення в них сторонніх звуків.

Відбивання звукових хвиль. Ехолокація. Якщо поширюється в якому-небудь середовищі, то рано чи пізно вона дійде до межі цього середовища, за яким починається інше. Це інше середовище складається з інших частинок, і швидкість поширення звуку в ньому буде іншою. На такій межі спостерігається відбивання звукової хвилі (мал. 171) подібно до відбивання світла на межі повітря й дзеркала.

Відбивання відбувається тому, що коливання звукової хвилі передаються частинкам іншого середовища. Ці частинки самі стають джерелами нової (вторинної) звукової хвилі. Вторинна хвиля поширюється не тіль-



Мал. 171. Відбивання звукової хвилі

ки в другому середовищі, а й у першому, звідки надійшла первинна хвиля. Це і є відбита хвиля.

На межі поділу двох середовищ звук не тільки відбивається, а й поглинається, проникаючи в інше середовище. Наприклад, оштукатурена стіна поглинає майже 8 % енергії звукових хвиль, а килим — 20 %.

З відбиванням звуку пов'язане відоме всім явище — *луна*. Воно полягає в тому, що звук від джерела доходить до деякої перешкоди (краю лісу, стіни, гори тощо), відбивається від неї й повертається до місця, де виникли звукові коливання. Якщо первинний і відбитий звуки доходять до слухача не одночасно, то він чує звук двічі. Бувають випадки, коли звук відбивається кілька разів, тоді й почути його можна кілька разів (наприклад, гуркіт грому).

Відбивання звукових хвиль має широке практичне використання в природі й техніці. Так, виявлення об'єктів за відбитими звуковими хвилями є основою ехолокації (мал. 172).



Мал. 172. Приклади використання ехолокації

Тварини (кажани, кити та дельфіни) використовують ехолокацію для навігації й полювання. Ехолокацію вони здійснюють таким чином: тварина періодично подає звукові сигнали і сприймає вухами відбиті хвилі (луну). Потім ця інформація інтерпретується мозком, утворюючи уявний образ довкілля.

Подібний метод орієнтації у просторі застосовують й люди із вадами зору. Вони роблять це, видаючи звуки: ротом, ногою або тростиною. Іншими словами, людина, видаючи звуки, навчається, або точніше сказати, розвиває в собі здатність приймати луну від предметів, і робить це з достатньою точністю. Люди із вадами зору здатні отримувати уявний образ світу за відбитими звуками, які чують!



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Які коливання називають звуковими? Які тіла можуть бути джерелом звуку?
2. Якщо помахати рукою в повітрі, то від її поверхні в обидві сторони поширюватимуться механічні хвилі. Чому ми їх не чуємо?

3. Чи можна почути на Землі гуркіт від падіння метеориту на поверхню Місяця? Поясніть.
4. Від чого залежить швидкість поширення звукових коливань?
5. Яке фізичне явище називають луною? У чому полягає суть ехолокації? Наведіть приклади застосування ехолокації.



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 16

1. На відстані 1068 м від спостерігача вдаряють молотком по сталевій рейці. Спостерігач, приклавши вухо до рейки, почув звук на 3 с раніше, ніж він дійшов до нього через повітря. Визначте швидкість поширення звуку в сталі, якщо швидкість поширення звуку в повітрі становить 340 м/с.
2. З якою швидкістю летить куля, якщо до мішені вона долітає у 2 рази швидше, ніж долине звук пострілу? Швидкість поширення звуку в повітрі прийняти такою, що дорівнює 340 м/с.
3. Під час грози ви почули гуркіт грому через 8 с після спалаху блискавки. Чи можете ви за цими даними визначити, на якій відстані від вас іде гроза? Швидкість поширення звуку в повітрі прийняти такою, що дорівнює 340 м/с.
4. Перебуваючи в місці, де можна отримати луну, ви зафіксували, що ваш вигук «ау» повертається до вас через секунду. Як далеко ви перебуваєте від перешкоди, що відбиває ваш вигук?
5. Як відомо, і повітря, і скло добре поширюють звук. У чому ж секрет шумозахисних склопакетів?

§25

Акустичні та фізіологічні характеристики звуку

Акустичні (фізичні) та фізіологічні характеристики звуку. Як ви вже знаєте, звук — це механічна хвиля, яка описується певними фізичними величинами. У той же час, звук — це окремий діапазон механічних хвиль, які може відчувати людина завдяки органам слуху. Тому розрізняють акустичні (фізичні) та фізіологічні характеристики звуку.

До фізичних параметрів звуку належать *частота* й *амплітуда*. Основними фізіологічними характеристиками звуку є *висота* та *гучність*. (Існують й інші характеристики звуку, такі як тембр звуку, тони й обертони, гармоніки, тривалість тощо.)

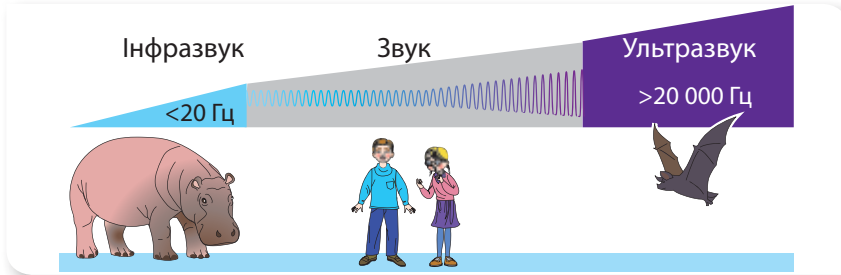
Щодо частоти звуку, то як ви вже знаєте, людина сприймає механічні коливання як звук за умови, що частота хвилі коливається в межах від 16 до 20 000 Гц. Коливання, частота яких менша від 16 Гц, називають інфразвуком, а коливання із частотами, більшими за 20 000 Гц, — ультразвуком (мал. 173, с. 122).

Ви дізнаєтесь

- Як людина сприймає різні звуки

Пригадайте

- У яких межах лежить значення частоти звукових коливань

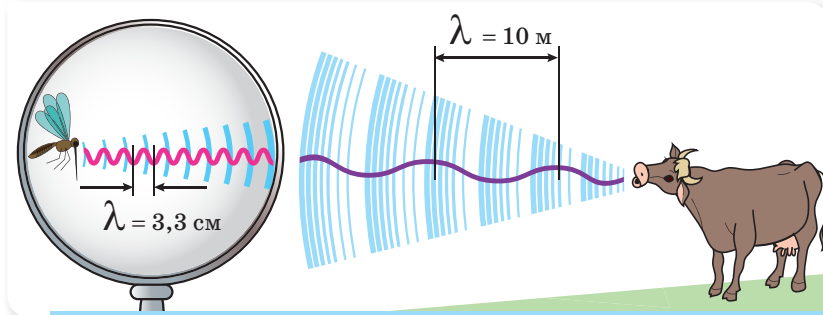


Мал. 173. Шкала частоти коливань звукових хвиль

Із частотою звуку пов'язана фізіологічна характеристика, яку називають **висотою звуку (тоном)**.

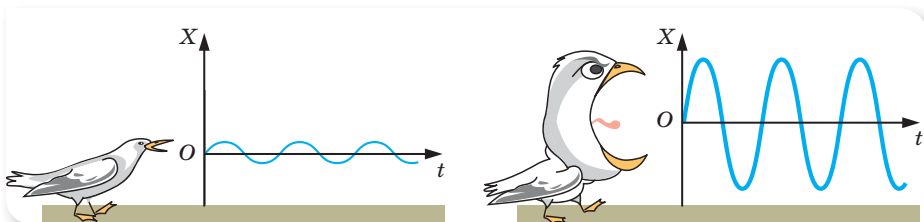
Для унаочнення поняття висоти звуку можна здійснити такий дослід. Візьміть невеличку трубку, закрийте один з її отворів і подуйте біля другого отвору. Матимете свищик, який дає звук певної висоти. Якщо хочете змінити висоту звуку, вставте у трубку поршень. Тепер можна змінювати висоту стовпчика повітря в трубці й одержувати звук різної частоти, а отже, й різної висоти звуку. Спробуйте встановити залежність між висотою звуку й висотою стовпчика повітря.

Отже, більшій частоті відповідає більша висота звуку (мал. 174).



Мал. 174. Висота звуку визначається частотою звукової хвилі

З амплітудою звукових коливань пов'язана інша фізіологічна характеристика, яку називають **гучністю звуку**. Що більшою є амплітуда коливань, то гучніший звук (мал. 175).

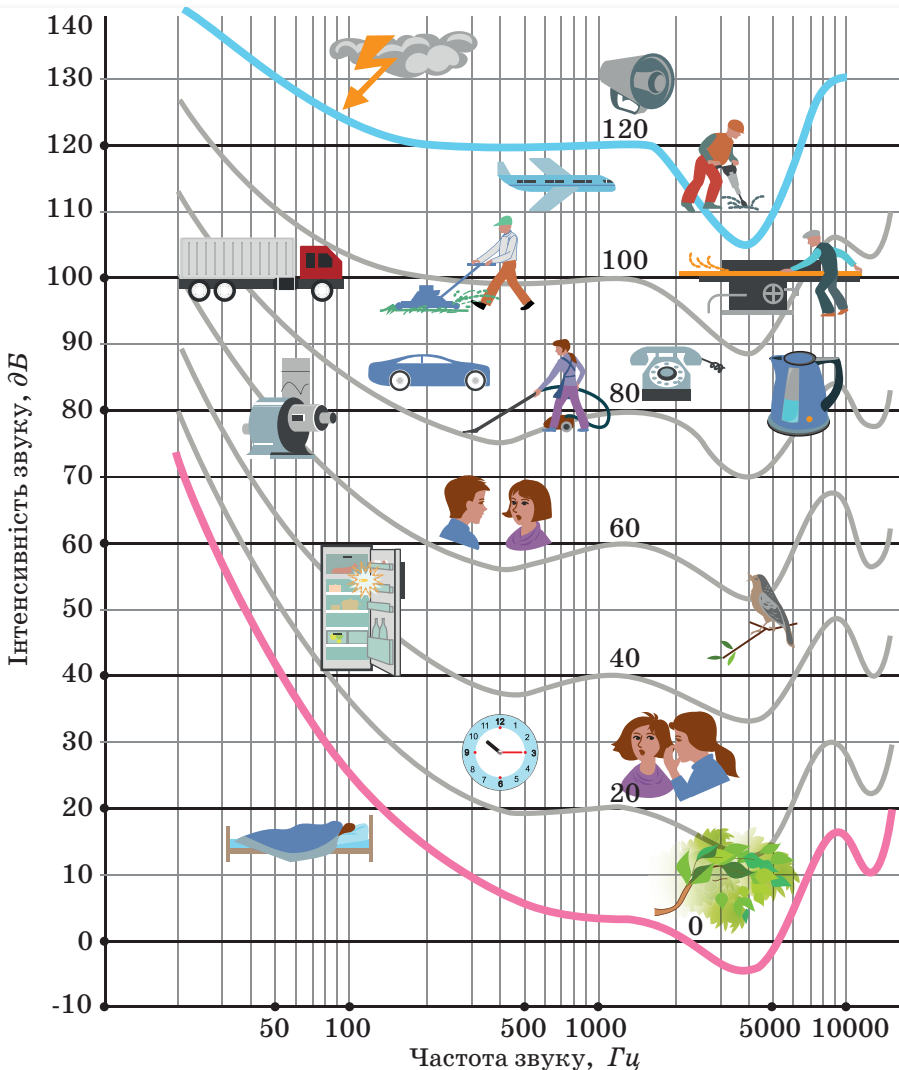


Мал. 175. Гучність звуку визначається амплітудою звукової хвилі

Одиницею гучності звуку є *децибел* (1 дБ). Вона названа на честь американського вченого Александра Грейама Белла — винахідника телефону та слухового апарата для людей із вадами слуху.

Проте, як було сказано, гучність звуку є фізіологічною величиною й один і той самий звук одній людині може здаватися гучним, а іншій — тихим. Гучність звуку визначається середнім тиском звукової хвилі на органи слуху людини, тому є поняттям суб'єктивним.

Гучність звуку шелесту листа оцінюється в 10 дБ, шепоту — 20 дБ, величного шуму — 70 дБ. Шум гучністю 130 дБ відчувається шкірою й викликає больові відчуття.



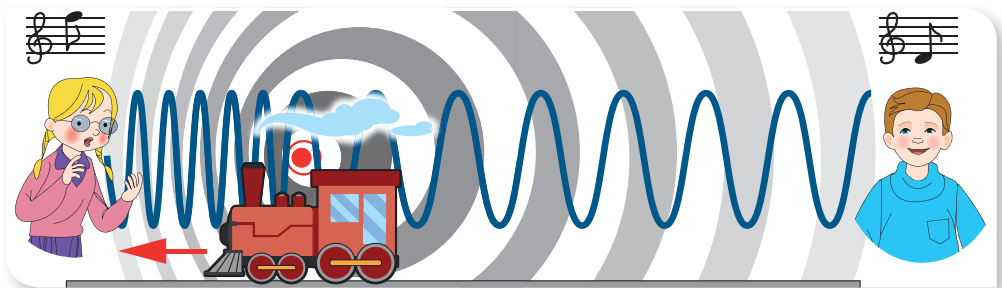
Мал. 176. Межі сприйняття людиною звуків різної гучності й частоти

Сприймання звуку людиною. Вухо є надзвичайно чутливим приймачем звуку, який працює в дуже широкому діапазоні частот й амплітуд. Чутливість вуха є такою, що ми сприймаємо звук уже тоді, коли тиск звукової хвилі дорівнює 10^{-6} Па. Чутливість органів слуху людини має нижній і верхній пороги чутності, які визначаються співвідношеннями гучності й частоти звуку. На малюнку 176 (с. 123) зображено межі звукових сигналів різної гучності й частоти, які сприймаються людиною. Кожна окрема крива є кривою однієї і тієї ж гучності. Рожева лінія на малюнку відповідає нижньому порогу чутності, а блакитна — верхньому.

Проаналізувавши малюнок, можна зробити висновок, що нижній поріг чутності має дві ділянки на частотах 4000 і 16 000 Гц, де людське вухо більш чутливе. (До речі, саме на частоті 16 000 Гц пищить комар.)

Ще кілька висновків щодо сприйняття звуків людиною:

- хвилі однакової амплітуди (гучності) людина сприймає, як менш гучні на високих та низьких частотах;
- якщо джерело звуку наближається до спостерігача (мал. 177), то довжина хвилі буде сприйматися спостерігачем меншою, ніж є насправді (звук буде здаватися вищим), і навпаки — при віддаленні джерела звуку спостерігач сприйматиме довжину хвилі більшою (звук буде здаватися нижчим).



Мал. 177. Сприйняття звуку від рухомого джерела

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Назвіть акустичні та фізіологічні характеристики звуку.
2. Джміль під час польоту «гуде» гучніше, ніж бджола. Хто з комах частіше змахує крилами?
3. Чому людина сприймає звуки однакової амплітуди, але різних частот як звуки різної гучності?

§26

Вібрації та шуми. Інфра- й ультразвуки та їх застосування

Шум і вібрації. Одним з антропогенних (створених людиною) факторів забруднення довкілля є шум. Шумове забруднення, за даними австрійських учених, скорочує тривалість життя населення великих міст на 10–20 років. Промислові підприємства, транспорт, побутові пристрої, радіо й телебачення, смартфони створюють відчутну «шумову атаку» на організм людини.

Про негативний вплив гучних звуків на організм людини красномовно свідчить такий історичний факт: у Стародавньому Китаї до людей, які нешанобливо ставилися до релігії, застосовували покарання звуком. «Хто паплюжить Всевишнього, не повинен бути повішеним, але флейтисти, барабанщики та горлані повинні безперервно грати перед ним і вдень, і в ночі, доки він не впаде намертво».

А що ми можемо зробити для вирішення проблеми міського шуму? Багато. Наприклад, стежити за тим, щоб удома не звучали занадто гучно й одночасно аудіо- та відеопристрої; розмовляти вдома, на вулиці, у транспорті тихо, не підвищуючи голосу; насаджувати дерева й кущі, адже правильно висаджені зелені насадження можуть значно зменшити міський шум — улітку його «розсіює» й «поглинає» листя, а взимку — сніг на гілках.

На виробництві джерелами шуму є працюючі верстати та механізми, ручні механізовані інструменти, електричні машини, компресори, ковальсько-пресове й підйомно-транспортне устаткування, допоміжне устаткування (вентиляційні установки, кондиціонери) та інше.

Найпростішими засобами боротьби із шумом є: звукоізолювальний кожух, який може закривати окремих вузол машини; акустичні екрани, що відгороджують шумний механізм від робочого місця або зони обслуговування машини; шумопоглинальне облицювання для стін і стелі. Враховуючи те, що за допомогою таких засобів не завжди вдається вирішити проблему високого рівня шуму на виробництві, велика увага повинна приділятися застосуванню індивідуальних засобів захисту (антифони, заглушки та ін.) (мал. 178).

Вібрація — це механічний коливальний рух системи з пружними зв'язками між компонентами. Тривала дія потужної вібрації на організм людини призводить до передчасного стомлення,

Ви дізнаєтесь

- Як впливають шум, інфра- та ультразвуки на організми

Пригадайте

- Коливання якої частоти відповідають інфра- й ультразвукам



Мал. 178. Засоби індивідуального захисту від виробничого шуму

зниження продуктивності праці, зростання захворюваності й нерідко до виникнення професійної патології — *вібраційної хвороби*.

За способом дії на людину вібрацію умовно поділяють на: *місцеву* (локальну), таку, що передається на руки працюючого, і *загальну*, що передається через опорні поверхні на тіло людини (у положенні сидячи — сідниці, а в положенні стоячи — підшви ніг).

Зменшення шкідливого впливу вібрації ручних механізованих інструментів на працюючого досягається засобами зовнішнього віброзахисту, якими є пружно демпфуючі матеріали та пристрої, розміщені між джерелом вібрації й руками людини.

Ультразвук та його практичне використання. Коливання, що поширюються у пружному середовищі з частотою, яка є більшою, ніж верхня межа звукового діапазону ($\nu > 20\,000$ Гц), називають *ультразвуком*.

Ультразвукові хвилі мають безліч застосувань у науці й техніці:

- контроль перебігу певного процесу (концентрації суміші газів, складу різних рідин тощо);
- ультразвукові товщиноміри, прилади для визначення рівня рідин у великих, недоступних для прямих вимірювань ємностях;
- дефектоскопія — контроль якості (наявності порожнин і нерівномірної густини) виробів із твердих матеріалів (рейок, прокату тощо);
- звукобачення (виявляється, перетворивши ультразвукові коливання на електричні, а електричні на світлові, можна побачити певні предмети в непрозорих для світла середовищах);
- ультразвукові мікроскопи;



Мал. 179. Застосування ультразвуку в медицині

- на принципі відбивання ультразвукових імпульсів від перешкоди ґрунтується робота таких приладів, як ехолот, гідролокатор;
- ультразвук дає змогу обробляти крихкі деталі (скло, кераміку).

Широко застосовується ультразвук у медицині (мал. 179):

- виявлення тромбів. Лікар натискає на вену, сканує її ультразвуком й отримує зображення внутрішніх структур за допомогою хвиль, які ними відбиваються і вловлюються приймальним пристроєм;
- діагностика, терапевтичне та хірургічне лікування. Ультразвукові методи в деяких випадках забезпечують більш тонке розрізнення структури тканин, ніж рентгенівські. Широко застосовується діагностика й дослідження плоду матері, дослідження пухлин головного мозку (нейрохірургія), вивчення геодинаміки, виявлення гіпертрофії м'язів серця (кардіологія);
- механічні коливання, що виникають при порівняно невеликій інтенсивності ультразвуку, викликають своєрідний масаж тканин, що забезпечує кращий обмін речовин і краще живлення тканин кров'ю та лімфою.

Інфразвук і його практичне використання. Коливання, що поширюються у пружному середовищі з частотою, яка є меншою від нижньої межі звукового діапазону ($\nu < 16$ Гц), називають *інфразвуком*.

Джерелами інфразвуку є землетруси, виверження вулканів, а також вібрації масивних верстатів, компресорів та іншого устаткування. Найбільшу інтенсивність інфразвукових коливань створюють машини і механізми, що мають велику площу поверхні й здійснюють низькочастотні механічні коливання.

Дослідження дії інфразвуку на організм людини показали, що він може викликати зміни в центральній нервовій, серцево-судинній і дихальній системах, а також у вестибулярному аналізаторі. Тривала дія потужних джерел інфразвуку спричинює зниження слуху людини переважно на низьких і середніх частотах.

Людина не чує цих коливань, але відчуває тривогу й дискомфорт. Більш чутливі до інфразвукових коливань деякі тварини. Відомо, що собаки й коти перед землетрусом намагаються втекти з дому.

Інфразвукові коливання погано поглинаються. Тому вони поширюються на значні відстані у повітрі, воді й земній корі. Цю їхню властивість використовують при визначенні епіцентрів вибуху, для завчасного повідомлення про наближення цунамі, а також при дослідженнях верхніх шарів атмосфери й підводного світу.

Науковці вважають, що інфразвук, який супроводжує виникнення полярного сяйва, є причиною дивного стану деяких людей. Вони ніби зовсім відмежовані від навколишнього світу, збуджено розмовляють з невидимими співрозмовниками, хитаються в такт музики, яку чують лише вони. Буває, бродять, як сновиди, або йдуть з дому. Коли вони приходять до тями, то згадують, що чули казкові звуки й підкорялися Полярній зорі, яка кликала їх у землю предків. Річ у тім, що людина не сприймає інфразвук органами слуху, але він впливає на її мозок і серцево-судинну систему, а тому наслідки для організму можуть бути непередбачуваними.

ФОРМУЄМО СВОЮ КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. Розкажіть про властивості інфра- та ультразвуку, а також про їхнє практичне використання.
2. У чому полягає шкідлива дія на людський організм ультразвуку, інфразвуку, шуму та вібрацій?

§ 27

Електромагнітне поле й електромагнітні хвилі

Ви дізнаєтесь

- Як утворюються й поширюються електромагнітні хвилі

Пригадайте

- Властивості електричного та магнітного полів

Механізми передачі взаємодії. З попередніх параграфів ви вже чітко усвідомили, що механічні хвилі поширюються лише в пружному середовищі в результаті взаємодії структурних часток речовини. Механічна хвиля переносить енергію без перенесення самої речовини. А чи можливе поширення коливань (збуджень) у середовищі, що не містить речовини? І чи існує в самій речовині інший механізм поширення енергії? Так, існує, і про нього ми вже

неодноразово згадували. Пригадуєте, розповідаючи про механізми теплообміну, ми відзначали, що теплове випромінювання може поширюватись і в безповітряному просторі? Досліджуючи світлові явища, ми звертали вашу увагу на те, що світло — це теж випромінювання, а отже, може поширюватись у вакуумі. Вивчаючи особливості поширення електричного струму в металевих провідниках, ви дізналися, що швидкість поширення електричного поля (а отже, і струму) в провіднику і швидкість упорядкованого руху електронів у ньому — це не одне й те саме. Швидкість поширення електричного поля в провіднику є набагато більшою в порівнянні зі швидкістю упорядкованого руху електронів і становить близько $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

З такою самою швидкістю рухається й світло. А тепер настав час дослідити механізм утворення й поширення електромагнітного випромінювання.

Гіпотеза Джеймса Максвелла. Досліджуючи явище електромагнітної індукції, учені помітили, що зміна магнітного поля, у якому перебуває провідний контур, спричинює появу в цьому контурі індукційного електричного струму, який у свою чергу утворює власне індуковане електричне поле. Це електричне поле відрізняється від того, яке ми вивчали, досліджуючи взаємодію нерухомих електрично заряджених тіл, тим, що воно має інші властивості. Силкові лінії такого поля, як і магнітного, — замкнуті (тому такі поля ще називають *вихровими*). Окрім цього, таке електричне поле є змінним, а не постійним.



Майкл Фарадей
(1791–1867)

Англійський фізик-експериментатор і хімік

Джеймс Максвелл розвинув уявлення Майкла Фарадея про електромагнітну індукцію, довівши, що вихрове електричне поле може з'являтися в довільній частині простору, де існує змінне магнітне поле (незалежно від того, є там провідники, чи немає). І в середині 60-х років XIX ст. Джеймс Максвелл висунув гіпотезу, що існує й зворотний процес: змінне електричне поле спричинює появу змінного магнітного поля.

Сукупність взаємопов'язаних змінних електричного та магнітного полів називають *електромагнітним полем*.

У природі взагалі немає відокремлених одне від одного електричних і магнітних полів, а існує електромагнітне поле як особливий вид матерії, через який відбувається *електромагнітна взаємодія*.

Отже, магнітне поле може створюватися не лише електричним струмом (тобто рухомими електричними зарядами), а й змінним електричним полем. Такий взаємозв'язок магнітного й електричного полів, що можуть поширюватися у просторі, був першою теоретичною моделлю *електромагнітної хвилі*.

Але Максвелл не дожив до того часу, коли існування електромагнітних хвиль було підтверджене експериментально. Лише через 10 років після його смерті німецький фізик Генріх Герц виявив електромагнітні хвилі за допомогою дослідів.

Досліди Генріха Герца. Утворення й поширення електромагнітних хвиль. Для одержання електромагнітних хвиль Генріх Герц використовував так званий *відкритий контур* (мал. 180). Він складався з двох горизонтально розміщених мідних стержнів. На одному кінці цих стержнів кріпились маленькі латунні кульки, а на протилежний були надіті цинкові сферичні ковпаки. Переміщаючи ці ковпаки, можна було змінювати електромагнітні параметри контура. Стержні розміщувались таким чином, щоб між маленькими кульками залишався незначний повітряний проміжок.

До мідних стержнів з боку цинкових ковпаків приєднано обмотки котушки, яка з'єднана з джерелом електричного струму. У результаті цього на стержні подавались окремі імпульси високої напруги. При цьому між латунними кульками періодично виникав іскровий розряд. Такий пристрій, що здатний випромінювати електромагнітні хвилі, Герц назвав *антенною*.

Щоб реєструвати випромінені хвилі, Герц використав *резонатор*. Резонатор —



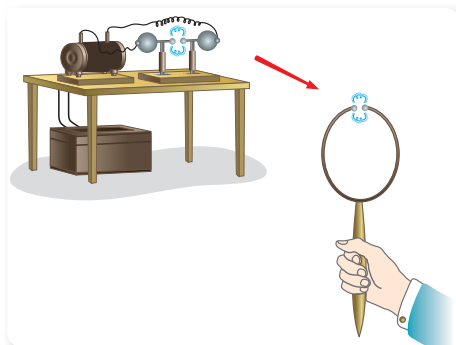
**Джеймс
Максвелл
(1831–1879)**

Англійський фізик,
математик і механік



**Генріх Герц
(1857–1894)**

Німецький фізик



Мал. 180. Схема
установки дослідів Герца

це мідний провідник з латунними кульками на кінцях, зігнутий у формі кільця. Між латунними кульками має бути незначний повітряний проміжок. Змінюючи розміри та положення резонатора, можна налаштувати його на частоту електромагнітної хвилі, що випромінюється антеною. Іншими словами, відкритий коливальний контур (антена) і резонатор працювали в режимі резонансу: щоразу, коли в коливальному контурі відбувався іскровий розряд, між кульками резонатора також пробігала іскра.

Утворення іскри свідчило про те, що в просторі між двома системами відбувався процес, пов'язаний з передаванням енергії. У подальших експериментах Герц установив, що цей процес має властивості хвилі. Експериментатор спостерігав відбиття, заломлення та інші явища, що притаманні хвилям.

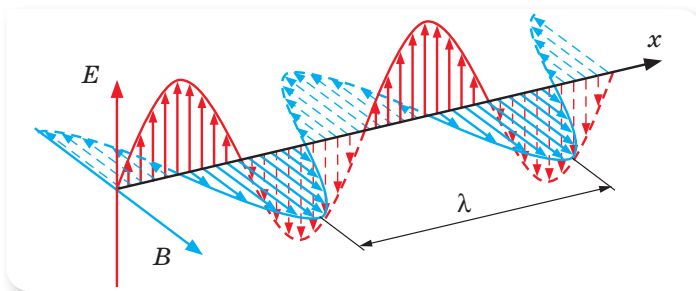
Герц зумів виміряти довжину електромагнітної хвилі та, обчисливши власну частоту електромагнітних коливань контура, визначив швидкість поширення хвилі. Виявилось, що вона дорівнює $3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ (на той час було відомо, що з такою швидкістю поширюється світло). c

Досліди Герца блискуче підтвердили теоретичні передбачення Максвелла, який був глибоко переконаний у тому, що електромагнітні хвилі існують.

Процес поширення змінного електромагнітного поля в просторі з плином часу дістав назву **електромагнітна хвиля**.

Швидкість поширення, довжина й частота електромагнітної хвилі.

Електромагнітні хвилі, на відмінну від механічних, можуть бути тільки **поперечними**, оскільки в кожній точці простору напруженість електричного поля (вектор напруженості \vec{E}), магнітна індукція (вектор індукції магнітного поля \vec{B}) і швидкість поширення цих хвиль (\vec{v}) взаємно перпендикулярні (мал. 181).



Мал. 181. Модель електромагнітної хвилі

Електромагнітні хвилі, як і механічні, характеризуються довжиною хвилі, частотою й періодом.

Довжина електромагнітної хвилі (λ) — це відстань, на яку поширюється електромагнітна хвиля за один період.

За аналогією з механічними хвилями, швидкість електромагнітної хвилі визначається добутком довжини хвилі та її частоти, $v = \lambda \nu = \frac{\lambda}{T}$, де T — період; ν — частота електромагнітних коливань.

З теорії Джеймса Максвелла випливає, що у вакуумі електромагнітні хвилі поширюються з максимально можливою у природі швидкістю $3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а в речовині швидкість поширення електромагнітної хвилі зменшується під впливом електричних і магнітних властивостей цього середовища. І той факт, що виміряна швидкість електромагнітних хвиль є такою самою, як і швидкість світла, став вирішальним у з'ясуванні природи світла й довів, що світло — це різновид електромагнітних хвиль.

Частота електромагнітної хвилі (ν) — це частота, з якою змінюються значення напруженості та індукції електромагнітного поля в даній точці простору; вона збігається із частотою коливань джерела електромагнітної хвилі.

Період електромагнітної хвилі (T) дорівнює періоду коливань джерела електромагнітної хвилі.

Досліди Герца та пізніше проведені експерименти показали, що електромагнітні хвилі мають такі властивості:

- в однорідному середовищі вони поширюються рівномірно і прямолінійно;
- підлягають закону відбивання хвиль (при цьому краще відбиваються провідниками, ніж діелектриками);
- заломлюються згідно із законом заломлення хвиль і фокусуються;
- поглинаються;
- їм притаманні хвильові явища (*дифракції* — огинання невеликих перешкод; *інтерференції* — накладання хвиль, у результаті чого отримуються ділянки, у яких чергується підсилення й послаблення хвиль; *поляризації* — певної просторової орієнтації коливань електричної складової хвилі).

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Що називають електромагнітним полем? Чи можуть електричні й магнітні поля існувати відокремлено одне від одного?
2. Що називають електромагнітною хвилею?
3. З якою швидкістю поширюються електромагнітні хвилі у вакуумі? А в речовині?
4. Запишіть формулу, що демонструє зв'язок між швидкістю поширення хвилі, довжиною хвилі та частотою.
5. Які властивості електромагнітних хвиль ви знаєте?

§ 28

Шкала електромагнітних хвиль

Ви дізнаєтесь

- Що є джерелом електромагнітних хвиль

Пригадайте

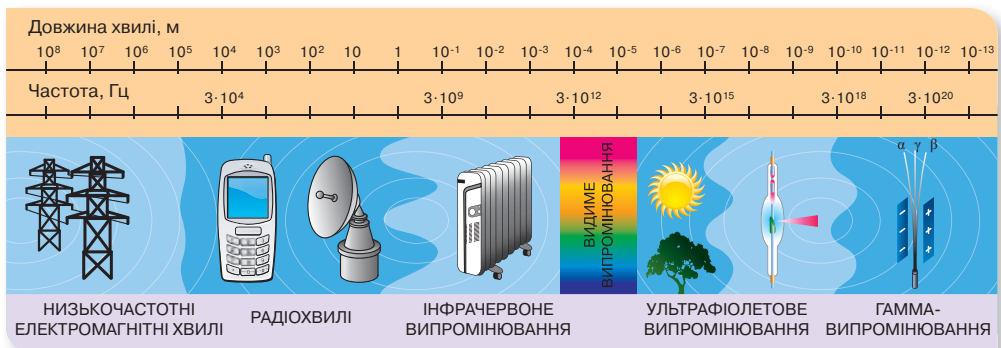
- Властивості теплового і світлового випромінювань

Джерела електромагнітних хвиль. Досліди Генріха Герца підтвердили, що електромагнітні хвилі породжуються змінними магнітним й електричним полями, які отримували у *відкритому коливальному контурі*. У сучасній радіоелектронній техніці елементи коливального контуру вдосконалені.

Оскільки електромагнітні хвилі генеруються електричним струмом, тобто зарядженими частинками, що рухаються прискорено (зі змінною швидкістю), то правильним буде й загальне твердження: *електричний заряд під час прискореного руху є джерелом електромагнітних хвиль*.

Ураховуючи, що прискорений рух заряджених частинок може відбуватись у різних системах фізичних тіл, то в результаті можливі випромінювання електромагнітних хвиль різної частоти, а відповідно — і довжини хвилі. Таким чином, електромагнітні хвилі можна розподілити за типами відповідно до умов їх збудження: радіохвилі породжуються електромагнітними коливаннями в коливальному контурі, який має цілком певні електромагнітні параметри; поява видимого світла зумовлена переходом електронів у атомі з вищого енергетичного рівня на нижчий; гамма-промені з'являються внаслідок змін у ядрах атомів (про що детальніше — у наступному розділі).

Властивості електромагнітних хвиль різних діапазонів. За довжиною хвилі (λ) електромагнітні хвилі займають діапазон від 10^{11} м до 10^{-11} м, а за частотою коливань (ν) — від $3 \cdot 10^{-3}$ Гц до $3 \cdot 10^{19}$ Гц. Для зручності опису властивостей електромагнітних хвиль їх можна розташувати на одній шкалі (мал. 182), у якій виділяють умовні діапазони: *низькочастотні хвилі, радіохвилі, інфрачервоне випромінювання, видиме випромінювання (світло), ультрафіолетове випромінювання, рентгенівське випромінювання й гамма-випромінювання*. Хвилі певного діапазону частот мають відповідні назви та властивості.



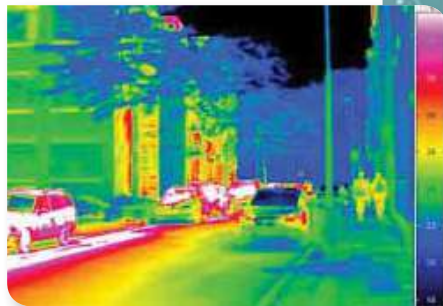
Мал. 182. Шкала електромагнітних хвиль

Низькочастотні електромагнітні хвилі утворюються під час роботи різних електротехнічних пристроїв, які живляться змінним струмом низької частоти. Це випромінювання внаслідок малої частоти має низьку енергію й не придатне для передачі інформації в атмосфері на великій відстані. Саме тому невдача спіткала багатьох відомих дослідників і винахідників, які намагалися передавати інформацію за допомогою електромагнітних хвиль низької частоти.

Радіохвилі поділяють на довгі (понад 10 км), середні (сотні метрів), короткі (десятки метрів). Ці хвилі переважно використовують у радіозв'язку (детальніше — у наступному параграфі). Ультракоткі радіохвилі поділяють на **метрові**, **дециметрові** й **міліметрові**. Метрові й дециметрові радіохвилі використовують у телебаченні, а міліметрові й дециметрові — у радіолокації.

Діапазон радіохвиль частково перекривається з інфрачервоними променями, які широко застосовують у техніці. У цьому діапазоні працюють лазери — оптичні пристрої, які дають змогу отримувати вузькоспрямований потужний промінь.

Інфрачервоне випромінювання — оптичне випромінювання з довжиною хвилі більшою, ніж у видимого випромінювання (більш ніж 750 нм). Інфрачервоні промені випромінюються всіма тілами (мал. 183), що мають температуру вищу за абсолютний нуль, інтенсивність випромінювання залежить від температури. Людина не бачить інфрачервоного випромінювання, проте існують прилади, які допомагають побачити його. Органи чуття деяких інших тварин, наприклад змій і кажанів, сприймають інфрачервоне випромінювання, що допомагає їм добре орієнтуватися в темряві. Близько половини загальної інтенсивності випромінювання Сонця припадає на інфрачервоний діапазон.



Мал. 183. Джерела інфрачервоного випромінювання

Видиме випромінювання — область електромагнітного випромінювання, що безпосередньо сприймається людським оком і займає діапазон від 380 нм (фіолетовий колір) до 750 нм (червоний колір). Чутливість людського ока є максимальною в середині цього діапазону (зелений колір) і зменшується в напрямках до його меж. Це значить, що поміж джерел світла однакової інтенсивності зелене джерело здаватиметься яскравішим, ніж червоне або блакитне.

Хвилі з довжиною, меншою від 380 нм, називають *ультрафіолетовими*. Природними джерелами ультрафіолетового випромінювання є Сонце та інші зорі й космічні об'єкти, а штучними — ультрафіолетові лампи (мал. 184, с. 134). Природні ультрафіолетові промені у свою чергу поділяються на типи: «А», «В» і «С», які по-різному поширюються і впливають на речовину.

Ультрафіолетове випромінювання має досить високу енергію й тому здатне впливати на хімічні зв'язки. У людей і тварин потужні ультрафіолетові промені можуть спричинити пошкодження на клітинному рівні,

опіки шкіри й очей. Сонячні опіки зумовлені ультрафіолетовими променями типу «В». Промені типу «А» можуть проникати в шкіру, тому тривале перебування під прямими сонячними променями може призвести до раку шкіри. Поверхня Землі захищена від шкідливих складових ультрафіолетових променів Сонця озоновим шаром атмосфери. Збереження та відновлення озонового шару — це одна з надважливих екологічних проблем сьогодення.



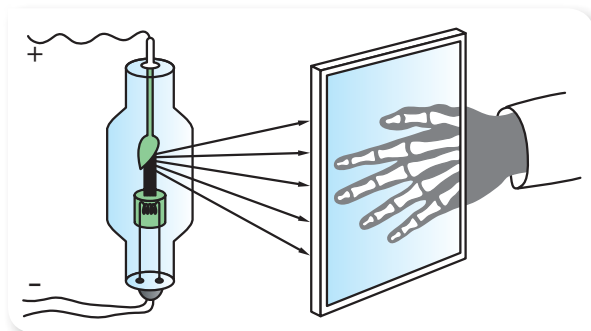
Мал. 184. Джерела ультрафіолетових променів

Люди використовують ультрафіолетові промені для знезаражування приміщень у лікарнях, стимуляції хімічних реакцій, утворення потрібних генних мутацій та ін.

Видиме, інфрачервоне й ультрафіолетове випромінювання об'єднують одним терміном — *оптичне випромінювання*.

Рентгенівські промені отримують під час гальмування електронів, які прискорені напругою в десятки кіловольт у спеціальних вакуумних трубках (мал. 185). На відміну від світлових променів видимого спектра й ультрафіолетового випромінювання, вони мають значно меншу довжину хвилі. Причому довжина хвилі рентгенівських променів є тим меншою, чим більша енергія електронів, які гальмуються.

У встановленні природи цього випромінювання визначальними були дослідження українського вченого Івана Пулюя на електронних вакуумних трубках власної конструкції, проведені задовго до відкриття Вільгельма Рентгена. Однак Рентген першим запатентував відкриття Х-променів, тому їх називають рентгенівськими.



Мал. 185.
Джерело
рентгенівського
випромінювання

Ці промені за довжиною перебиваються з *гамма-променями* (*γ-променями*), які утворюються під час розпаду деяких ядер атомів (детальніше про умови отримання гамма-променів — у наступному розділі «Фізика атома та атомного ядра»).

Ці промені мають найбільшу проникну здатність. Вони можуть проходити через товстий шар металу, тому їх використовують для перевірки якості великих зливків, зон зварювання товстого металу тощо. Гамма-промені використовують у медицині, геології та інших галузях.

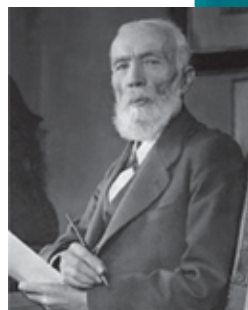
Електромагнітні поля у природі й техніці. Навколишнє середовище завжди перебуває під впливом електромагнітних полів. Ці поля називаються *фононим випромінюванням*, що спричинене природними явищами. З розвитком науки й техніки електромагнітне випромінювання значно підсилюється й останнім часом перетворилося на небезпечний екологічний чинник. Електромагнітні поля, які значно перевищують природний фон, належать до *антропогенних факторів* (спричинених діяльністю людини).

Розглянемо поля природного походження. Навколо Землі існує електричне поле, яке має нерівномірні силові прояви: його дія зменшується від середніх широт до полюсів та до екватора, а також з віддаленням від земної поверхні. Це поле постійно змінюється під впливом грозових розрядів, опадів та інших природних явищ. І як ви знаєте, навколо Землі існує й магнітне поле, інтенсивність якого найбільше проявляється на Північному та Південному магнітних полюсах.

Слід взагалі зазначити, що електромагнітне поле Землі постійно змінюється через низку факторів, як-от сонячна активність, процеси в земних надрах та інше. Також Земля постійно перебуває під впливом електромагнітного поля, що випромінюється Сонцем.

Електромагнітні поля впливають на біологічні об'єкти протягом всього часу їхнього життя. Тому в процесі еволюції людина пристосувалася до їхнього впливу. Проте науковці спостерігають зв'язок між збільшенням сонячної активності, що спричинює зміни електромагнітного поля Землі, та загостренням деяких захворювань людей.

Сучасні люди активно експлуатують різноманітні пристрої, що працюють з використанням електромагнітних хвиль, які також негативно впливають на здоров'я людини. Для захисту від їх шкідливого впливу приймаються відповідні нормативи і стандарти, яких мають дотримуватися виробники цієї техніки. Але потрібно зазначити, що будь-які норми і стандарти, пов'язані із захистом людини від небезпечного впливу, завжди є компромісом між перевагами використання нових технологій і нової техніки та можливим ризиком, що спричинений цим використанням.



Іван Павлович Пулюй
(1845–1918)
Український вчений і дослідник



Вільгельм Конрад Рентген
(1845–1923)
Німецький фізик-експериментатор, перший лауреат Нобелівської премії з фізики



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. На які діапазони поділяють шкалу електромагнітних хвиль? Накресліть таблицю в зошиті й заповніть її.

Вид випромінювання	Довжина хвилі, м	Частота хвилі, Гц	Джерело випромінювання

2. Наведіть приклади практичного застосування інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювань.
3. Уявіть себе журналістом, якому доручили взяти інтерв'ю у представників різних категорій населення з метою виявлення їхньої думки щодо електромагнітного випромінювання. Яким би було ваше повідомлення (у газеті, на телебаченні, в Інтернеті)?

§ 29

Принцип радіозв'язку. Радіолокація

Ви дізнаєтесь

- Як передавати інформацію на відстань за допомогою електромагнітних хвиль

Пригадайте

- Досліди Генріха Герца

Принцип радіозв'язку. З дослідів Генріха Герца випливає можливість практичного застосування електромагнітних хвиль для встановлення зв'язку й передачі сигналів без провідників.

Першими досягли успіху в цьому напрямі російський фізик Олександр Степанович Попов, який продемонстрував 7 травня 1895 р. роботу свого радіоприймача, та італієць Гульєльмо Марконі, який у 1902 р. здійснив радіозв'язок через Атлантичний океан. Дослідження Марконі були відзначені в 1909 р. Нобелівською премією.

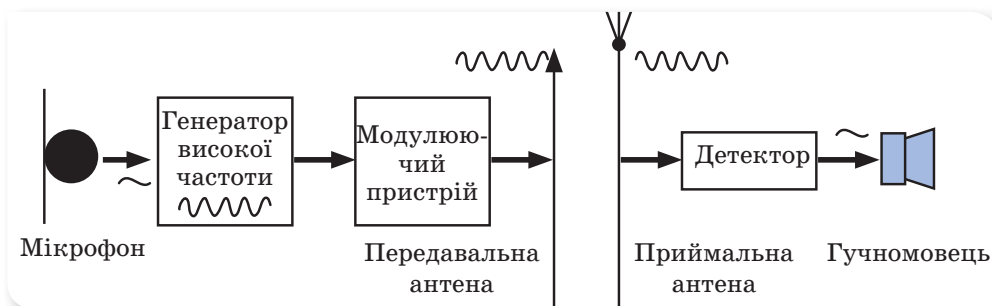
Важливим етапом у розвитку радіозв'язку стало створення в 1913 р. генератора незатухаючих електромагнітних коливань, за допомогою якого можна здійснювати надійний високочастотний радіотелефонний зв'язок — передачу розмови чи музики за допомогою електромагнітних хвиль.

У наступні роки зусиллями багатьох видатних учених та інженерів радіотехніка перетворилася на галузь, без якої сьогодні неможливо уявити сучасний світ комунікацій.

Основні принципи радіозв'язку показано на малюнку 186.

Колівання тиску повітря у звуковій хвилі за допомогою мікрофона перетворюються в електричний струм, величина якого змінюється синхронно з коливанням мембрани мікрофона. Отримані коливання величини електричного струму є низькочастотними і практично не придатні для передачі на відстань (випромінювання). Тому електричний струм підсилюють і *модулюють*. Будь-який з параметрів електромагнітної хви-

лі — частоту, амплітуду, фазу — можна використовувати для кодування інформації (*модуляції*). Найчастіше використовують *амплітудну модуляцію* — зміну амплітуди високочастотних електромагнітних коливань за законом електричних коливань низької частоти.



Мал. 186. Принцип радіозв'язку

Модуляція — зміна одного або кількох параметрів високочастотного коливання за законом низькочастотного коливання.

Промодульована електромагнітна хвиля випромінюється антеною передавача і, досягнувши антени приймача, викликає в ній модульовані високочастотні коливання електричного струму.

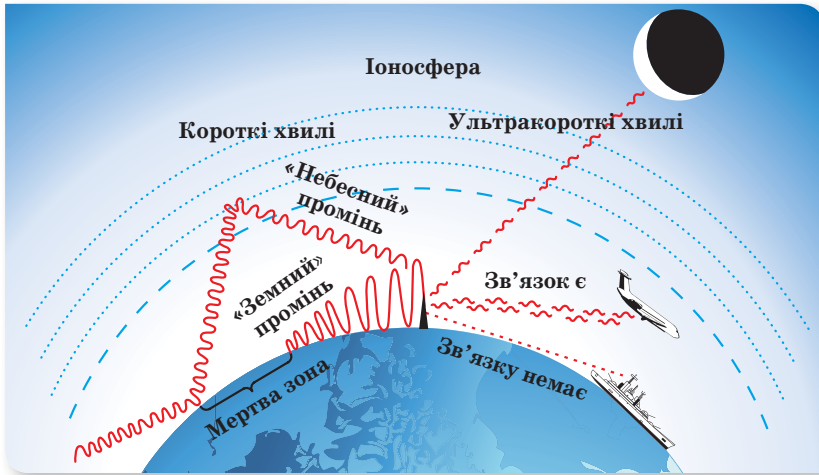
У приймачі з модульованих коливань високої частоти виділяють низькочастотні коливання звукової частоти. Такий процес перетворення сигналу називають *демодуляцією* (*детектуванням*).

Детектування (демодуляція) — процес виділення низькочастотних коливань із прийнятих модульованих коливань високої частоти.

Отриманий у результаті детектування сигнал відповідає тому звуковому сигналу, що діяв на мікрофон у передавачі. Цей сигнал підсилюється й передається на гучномовець, який відтворює звук.

Основною частиною кожного радіоприймача є *антена*, з'єднана з коливальним контуром. За умов, коли одночасно працює багато радіостанцій, на антену діють хвилі різних довжин і частот. В антені й у зв'язаному з нею коливальному контурі збуджуються складні електромагнітні коливання. Якщо частота одного з них збігається із частотою власних коливань контура, то його амплітуда різко зростає завдяки резонансу. Для налаштування на потрібну частоту в приймачах застосовують спеціальні електронні пристрої.

Властивості радіохвиль. Радіохвилі з різними довжинами хвиль по-різному поширюються біля поверхні Землі (мал. 187, с. 138). Радіозв'язок здійснюють на довгих (10 000–1000 м), середніх (1000–100 м), коротких (100–10 м) та ультракоротких (менш ніж 10 м) хвилях.



Мал. 187. Властивості радіохвиль різних діапазонів довжин хвиль

Довгі хвилі поширюються далеко за межі видимого горизонту. Тому радіопередачі на довгих хвилях можна приймати на великих відстанях за межами прямої видимості антени.

Середні хвилі поширюються біля поверхні Землі на менші відстані за межі прямої видимості.

Короткі хвилі можна прийняти в будь-якій точці на поверхні Землі. Поширення коротких радіохвиль на великі відстані від передавальної радіостанції пояснюється їхньою здатністю відбиватися від іоносфери, як від металеві пластинки.

Ультракорткі хвилі не відбиваються іоносферою й не огинають поверхню Землі. Тому зв'язок на ультракортких хвилях здійснюється тільки в межах прямої видимості антени передавача.

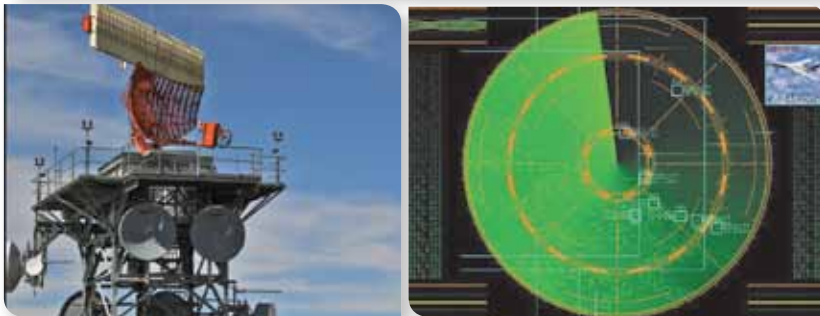
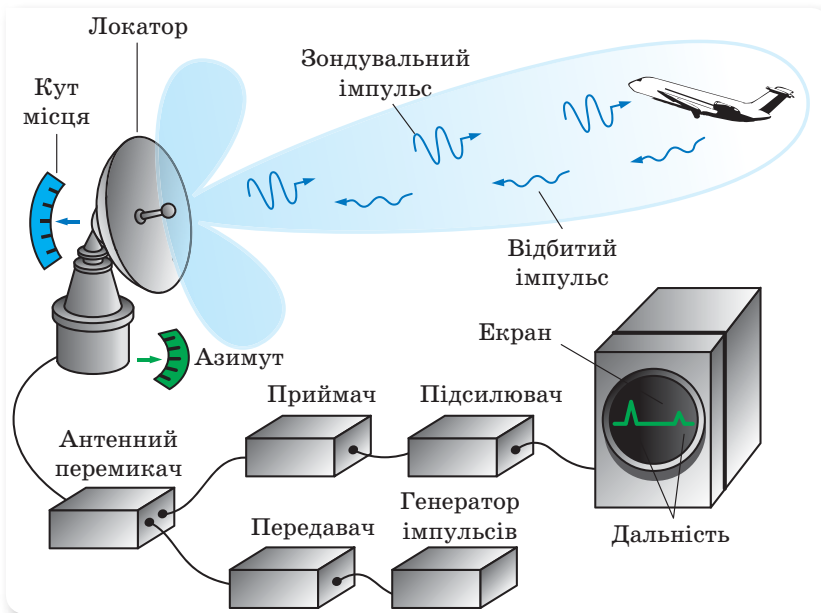
За допомогою радіохвиль передають на відстань не тільки звукові сигнали, а й зображення предмета. Телевізійні передачі ведуть у діапазоні 50–230 МГц. У цьому діапазоні електромагнітні хвилі поширюються майже в межах прямої видимості. Тому будують високі антени, використовують ретранслятори у вигляді антен та штучних супутників Землі.

Радіолокація. Ультракорткі хвилі використовують у *радіолокації*.

Радіолокація — це виявлення різних предметів і вимірювання відстані до них за допомогою радіохвиль.

Радіолокація ґрунтується на властивості електромагнітних хвиль відбиватися від металевих предметів або будь-яких тіл, що проводять електричний струм.

Відстань l до предмета, що відбив радіохвилі, дорівнює: $l = \frac{c t}{2}$, де c — швидкість поширення радіосигналу ($3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$); t — час проходження електромагнітних хвиль у прямому та зворотному напрямках.



Мал. 188. Схема наземної радіолокаційної станції

Основним пристроєм, що використовується під час радіолокації, є *радар* (від англ. *Radar* — скорочення від *radio detection and ranging*), або радіолокаційна станція, — система для виявлення повітряних, морських і наземних об'єктів, а також для визначення відстані до них та їхніх геометричних розмірів.

Радіолокаційні станції досліджують планети Сонячної системи та поверхню нашої Землі, визначають параметри орбіт супутників і виявляють скупчення грозових хмар.

Визначення координат цілі радаром відбувається в певній системі координат. Вибір тієї чи іншої системи координат пов'язаний зі сферою застосування радіолокаційної установки. Наприклад, наземна радіолокаційна станція спостереження за повітряною обстановкою вимірює три координати цілі: азимут, кут місця та дальність (мал. 188).

Розрізняють два основні режими роботи станції: режим огляду (скасування) простору й режим спостереження за об'єктом. У режимі огля-

ду промінь по строго визначеній системі сканує весь простір чи заданий сектор. Антена, наприклад, може повільно повертатися по азимуту й у той же час швидко рухатися вгору і вниз. У режимі спостереження антена увесь час спрямована на обраний об'єкт, і спеціальні системи стеження повертають її слідом за рухомих об'єктом.

Радіолокаційні розвідки, проведені в космічному просторі, дозволяють досліджувати навколосемні астероїди, що дає змогу прогнозувати траєкторії їхнього руху. Ці дослідження найбільш актуальні для так званих потенційно небезпечних астероїдів, траєкторії яких наближаються до Землі. За допомогою радіолокаторів «розглядають» астероїди, віддалені на мільйони кілометрів. Зафіксовані сигнали аналізують і на основі отриманої інформації створюють тривимірні моделі досліджених космічних об'єктів.

За допомогою радіолокації вперше експериментально виявлено компактне ядро комети. Природне космічне сміття, що оточує ядро комети і являє собою рій сантиметрових часток, також уперше було виявлене й досліджене за допомогою радіолокації. Крім того, саме радіолокація дає змогу визначити точну траєкторію небезпечної комети.



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Накресліть схему процесу радіопередачі. Поясніть призначення кожного блока та сутність процесу, що відбувається в кожному блоці.
2. Що називають модуляцією; детектуванням?
3. Що ви знаєте про особливості поширення середніх і довгих радіохвиль?
4. Що ви знаєте про особливості поширення коротких і ультракоротких радіохвиль? Яку роль у їх поширенні відіграє іоносфера?
5. Які радіохвилі (за довжиною та частотою) використовують у радіолокації?
6. Що таке радар і в яких режимах він може працювати?
7. Запишіть формулу, за якою визначають відстань до цілі в радіолокації.



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 17

1. Радіолокатор працює на довжині хвилі 20 см і відправляє імпульс із частотою 4 кГц і тривалістю 2 мкс. Визначте частоту хвилі, на якій працює радар.
2. Відправлений радіолокатором сигнал повернувся назад через 43 мкс. Визначте відстань до перешкоди.
3. Визначте найбільшу й найменшу відстані, на яких радіолокатор може виявити ціль, якщо тривалість імпульсу 10^{-6} с, інтервал між імпульсами 10^{-4} с.
4. Довжина хвилі радіолокатора 20 см, частота випромінювання 500 імпульсів за секунду, тривалість кожного імпульсу 0,02 мкс. Скільки коливань міститься в одному імпульсі та яка найбільша відстань дії локатора?
5. Відстань від радіолокатора до метеорита в момент відбиття сигналу радіолокатора 54 км. Яку відстань пролетів метеорит, швидкість якого 3 км/с, від початку випромінювання імпульсу до моменту його відбиття?

§30

Фізичні основи сучасних бездротових засобів зв'язку та комунікацій

Дистанційні пульти керування. Кожен з вас користувався дистанційним пультом для телевізора. А чи знаєте ви, як він працює? Можливо, хтось звернув увагу на те, що пульт діє, якщо він спрямований певним чином на телевізор, що керування телевізором здійснюється в моменти натискання кнопок на пульті та що на пульті й телевізорі є червоні світлодіоди.

При натисканні на кнопку пульта спрацьовує мікросхема в ньому, яка визначає код натиснутої кнопки та формує «повідомлення для телевізора» — послідовність електричних імпульсів, що містить код пульта й код кнопки, які подаються на випромінювач (інфрачервоний світлодіод). Випромінювач передає світлові сигнали на фотоприймач, що міститься на відповідному пристрої (телевізорі, музичному центрі або кондиціонері). Приймавши світловий сигнал, фотоприймач перетворює його в послідовність електричних імпульсів, які надходять на мікросхему блока керування пристроєм. А вона у свою чергу вже формує сигнали для управління функціями відповідного пристрою. Тобто після того, як ви натиснули одну з кнопок пульта дистанційного керування, спочатку електричні імпульси перетворюються на світлові сигнали, а потім знову — в електричні імпульси. Зручність такої системи в тому, що за допомогою послідовності імпульсів (електричного сигналу) можна записати дуже велику кількість інформації. Це дозволяє не тільки дистанційно керувати пристроєм, а й використовувати практично для кожного електронного пристрою свій унікальний код, щоб не відбулося помилкового спрацювання інших електронних пристроїв.

Мережеві бездротові засоби зв'язку. Інфрачервоні засоби зв'язку є досить надійними, проте мають кілька недоліків. По-перше, інфрачервона технологія працює тільки в зоні «прямої видимості» і є тільки «парною» технологією.

Для подолання проблем, що притаманні системам інфрачервоного зв'язку, була розроблена технологія Bluetooth. Ця технологія забезпечує бездротовий зв'язок на відстані 10 або 100 метрів між різноманітними типами електронних пристроїв (мобільні телефони й аксесуари до них, портативні та настільні комп'ютери, принтери, бездротові миші тощо) (мал. 189).

Технологія Bluetooth була розроблена в 1998 р. групою провідних компаній у галузі телекомунікацій. Bluetooth — це можливість об'єднувати в локаль-

Ви дізнаєтесь

- Як забезпечується комунікація в усьому світі

Пригадайте

- Принцип радіозв'язку



Мал. 189. Технологія Bluetooth

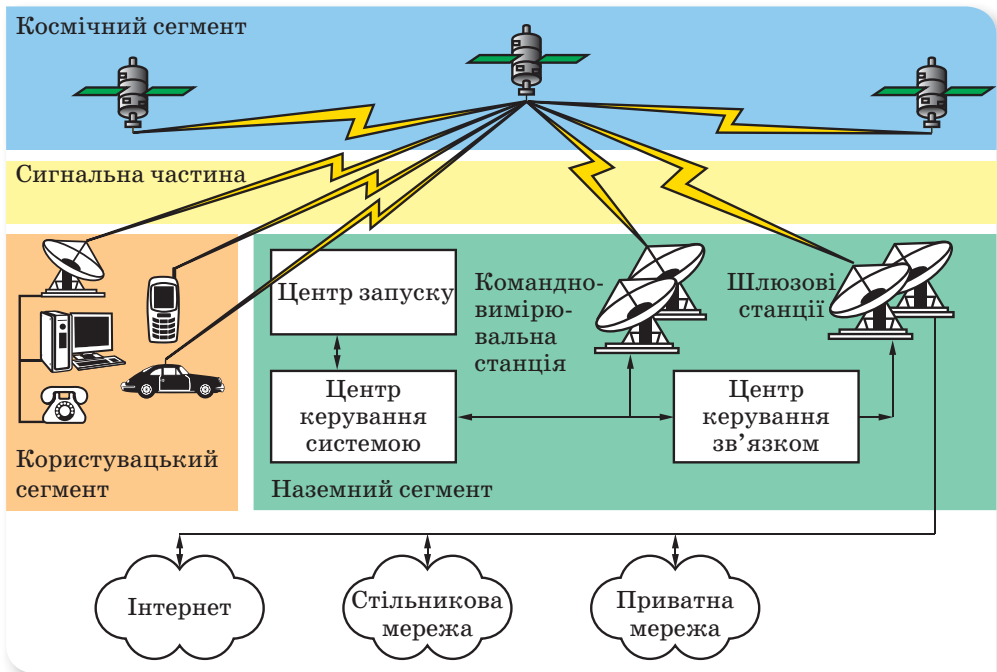


Мал. 190.
Wi-Fi роутер

ні мережі будь-яку техніку: від мобільного телефону й комп'ютера до холодильника.

Інший бездротовий засіб зв'язку — Wi-Fi роутер (мал. 190) — пристрій, що дозволяє об'єднувати в мережу комп'ютери, ноутбуки, телефони, планшети, принтери, телевізори (Smart TV) й користуватися Інтернетом з усіх пристроїв одночасно.

Супутниковий зв'язок. Початком історії систем супутникового зв'язку можна вважати 1958 р., коли в США запустили перший супутник зв'язку. З 1964 р. майже одночасно в СРСР і США почалося створення перших систем супутникового зв'язку. У системі супутникового зв'язку умовно можна виділити чотири основні компоненти (мал. 191): космічний, сигнальний, наземний і користувацький.



Мал. 191. Система супутникового зв'язку

Функції **космічного сегмента** полягають у проектуванні супутників, розрахунку орбіти й параметрів їх запуску, а також у забезпеченні виведення супутників на орбіту та їх експлуатації. **Сигнальна частина** визначає спектр частот, на яких буде здійснюватися зв'язок, досліджує вплив відстані на організацію й підтримку зв'язку, затверджує схеми модуляції та протоколи передачі даних. **Наземний сегмент** забезпечує конструювання й розміщення наземних станцій, визначає типи антен, які використовують для різних додатків, а також забезпечує ефективний доступ до каналів супутника. До **користувацького сегмента** належить устаткування абонентів.

Супутник — пристрій зв'язку, що приймає сигнали від наземної станції, підсилює та ретранслює їх одночасно на всі наземні станції, що перебувають у зоні його обслуговування. Головними компонентами супутника є ретранслятор (із приймальними та передаючими антенами) і космічна платформа.

Бортовий ретранслятор приймає сигнали земних станцій, підсилює їх і передає на землю. За допомогою бортових антен сигнал, що передається супутником на землю, фокусується в один або кілька променів, що забезпечує формування необхідної зони обслуговування.

Космічна платформа призначена для підтримки роботи супутника зв'язку. Основними функціями космічної платформи є забезпечення бортового ретранслятора електроживленням й утримання супутника на заданій орбіті. До складу космічної платформи можуть входити: центральний процесор; радіоелектронне обладнання; антенні системи; система орієнтації й стабілізації; двигуни; система електроживлення (акумулятори та сонячні батареї). Електроживлення бортової апаратури здійснюється зазвичай від сонячних батарей і резервних акумуляторів.

Стійкість супутника й потрібна орієнтація антен підтримуються системою орієнтації й стабілізації. Її задача — слідкувати за орієнтацією супутника в просторі та параметрами орбіти. У разі потреби корекції положення на супутник (з наземної керуючої станції) передаються відповідні команди. Після надходження команд на супутнику вмикається відповідне обладнання і здійснюється корекція його орбіти. Супутник, залишений людиною напризволяще, через деякий почне рухатися по випадковій орбіті й перетвориться в пристрій, не придатний для забезпечення зв'язку.

Розмір і вага супутника обмежені в основному можливостями транспортних засобів (ракет-носіїв), вимогами до сонячних батарей і обсягами пального. Зазвичай супутник зв'язку придатний до експлуатації протягом десяти років.

Мобільний зв'язок. Одним з видів мобільного радіозв'язку є стільниковий зв'язок. Основним технічним компонентом цього виду зв'язку є стільникова мережа. Зона покриття певного оператора мобільного зв'язку ділиться на «стільники», що визначаються зонами покриття окремих базових станцій. Сусідні стільники частково перекриваються й усі разом утворюють мережу.

Увімкнений стільниковий телефон аналізує радіоефір і визначає сигнал найближчої базової станції. Після цього телефон надсилає на цю станцію свій унікальний ідентифікаційний код. Телефон і станція підтримують постійний радіоконтакт і періодично обмінюються пакетами даних. При переміщенні абонента його телефон постійно аналізує радіоефір й обмінюється даними вже з іншими базовими станціями, які на той момент є найближчими до абонента.



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. У чому відмінність між аналоговим та цифровим способами передавання даних?
2. Як працює пульт дистанційного керування?
3. Назвіть основні сегменти супутникового зв'язку й опишіть їхнє призначення.

Перевірте себе

Рівень А (початковий)

- Укажіть фізичну величину, яка визначає гучність звуку.

А частота коливань	В амплітуда
Б фаза коливань	Г енергія коливань
- Укажіть різновид коливань, який є електромагнітною хвилею.

А світло	В інфразвук
Б звук	Г хвилі на поверхні води
- Укажіть довжину хвилі, частота якої 5 Гц, а швидкість поширення 12 м/с.

А 0,42 м	Б 2,4 м	В 4,2 м	Г 24 м
-----------------	----------------	----------------	---------------
- Укажіть, як коливаються частинки в повздовжній хвилі.

А перпендикулярно до напрямку поширення хвилі
Б паралельно до напрямку поширення хвилі
В хаотично лише в горизонтальній площині, в інших площинах — упорядковано
Г упорядковано лише у вертикальній площині, а в усіх інших — хаотично
- Укажіть визначення довжини хвилі.

А відстань між найнижчою й найвищою точками хвилі
Б відстань, на яку поширюється хвиля протягом одного періоду коливань
В відстань між двома будь-якими точками хвилі
Г відстань, на яку поширюється хвиля протягом двох періодів коливань
- Укажіть назву пристрою, що слугує для передачі електромагнітних хвиль.

А провідник з постійним струмом
Б котушка з постійним струмом
В лінії електропередач
Г відкритий коливальний контур

Рівень В (середній)

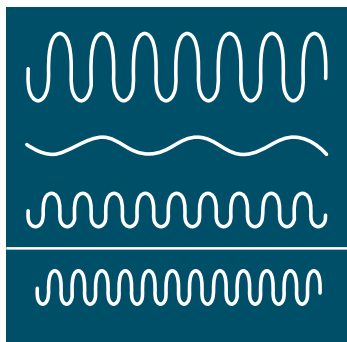
- Основними характеристиками звукових хвиль є...

А гучність, тембр, шум, висота звуку
Б гучність, тембр, висота звуку, скрип
В гучність, висота звуку, частота, амплітуда
Г гучність, висота звуку, тембр, луна
- Укажіть швидкість поширення звуку у вакуумі.

А $330 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	Б $30\,000 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	В $0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	Г $3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
--	--	--	---
- Поміж перерахованих нижче хвиль укажіть повздовжні.

А хвилі на поверхні води
Б звукові хвилі
В хвилі, що утворюються внаслідок коливання шнура
Г електромагнітні хвилі

4. На малюнку 192 зображено сліди, які одночасно залишили на рухомій пластинці голки, прикріплені до ніжок чотирьох камертонів, що коливаються. Гучність якого камертона є найбільшою?



- 1 А першого
2 Б другого
3 В третього
4 Г четвертого

Мал. 192

Рівень С (достатній)

- Укажіть джерело, яке випромінює лише в інфрачервоному й видимому діапазоні.
А лампа розжарювання В тіло людини
Б електрична дуга Г ртутно-кварцева лампа
- Радіолокатор працює на частоті 1300 Гц. Укажіть значення дальності радіолокації.
А $5 \cdot 10^{-6}$ м Б $5 \cdot 10^{-3}$ м В $2 \cdot 10^4$ м Г $2 \cdot 10^5$ м
- Укажіть рядок, у якому назви видів електромагнітного випромінювання розміщені в порядку зменшення довжини хвилі.
А видиме світло, радіохвилі, інфрачервоне, рентгенівське, ультрафіолетове й γ -випромінювання
Б γ -випромінювання, рентгенівське, ультрафіолетове випромінювання, видиме світло, інфрачервоне випромінювання та радіохвилі
В радіохвилі, ультрафіолетове випромінювання, видиме світло, інфрачервоне випромінювання, рентгенівське випромінювання та γ -випромінювання
Г радіохвилі, інфрачервоне випромінювання, видиме світло, ультрафіолетове, рентгенівське та γ -випромінювання

Рівень D (високий)

- Сигнал ехолота повернувся через 0,4 с після відправлення. Яка глибина водойми, якщо швидкість поширення ультразвуку 1,5 км/с?
А 100 м Б 200 м В 300 м Г 450 м
- Укажіть особливість земної атмосфери, що дозволяє використовувати короткі хвилі для зв'язку між континентами.
А наявність іоносфери В наявність тропосфери
Б наявність стратосфери Г наявність хмар
- Поясніть, як змінюється швидкість звуку з підвищенням температури середовища.

ВИКОНЦЕМО НАВЧАЛЬНІ ПРОЕКТИ

Світ звуків такий різноманітний, а чи можеш ти їх розпізнати? Створи власну фонотеку загадок «Угадай звук».

Яку руйнівну силу має звук? Що ми можемо зробити для вирішення проблеми міського шуму? Як за допомогою звуку можна бачити?

Відповіді на ці та багато інших цікавих запитань дізнайтеся, виконуючи проекти

«ЗВУКИ В ЖИТТІ ЛЮДИНИ», «ВІБРАЦІЇ І ШУМИ ТА ЇХНІЙ ВПЛИВ НА ЖИВІ ОРГАНІЗМИ», «ЗАСТОСУВАННЯ ІНФРА- ТА ЦУЛЬТРАЗВУКІВ У ТЕХНІЦІ»



А чи можете ви уявити сучасний світ без практичного використання електромагнітних хвиль? Скільки джерел електромагнітних хвиль є поряд з вами у класній кімнаті, вдома, у місті? Чи можна сховатись від електромагнітних хвиль?

Виконайте проекти

**«ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ В ПРИРОДІ Й ТЕХНІЦІ»
та «ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ
НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ»**

й отримайте відповіді на ці запитання.



ФІЗИКА АТОМА ТА АТОМНОГО ЯДРА. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ



На початку XX ст. визначними подіями у фізиці стали: відкриття електрона; з'ясування будови атома й атомного ядра; дослідження нових видів взаємодій між структурними частинками атома. Наукове пояснення цих відкриттів утворює окремий напрямок у фізиці, вивчення якого допоможе вам зрозуміти таємниці «мікросвіту», значення цих відкриттів для розвитку фізичної науки й людського суспільства та перспективи досліджень у цьому напрямі. Адже наприкінці XX ст. фізичні дослідження перейшли від мікро- до нанорівня. Уже сьогодні відбуваються маніпуляції з окремими атомами, які дозволяють створювати нові речовини з унікальними властивостями. Щоб оволодіти сучасними технологіями, необхідно знати та розуміти особливості фізики атома й атомного ядра!

§ 31

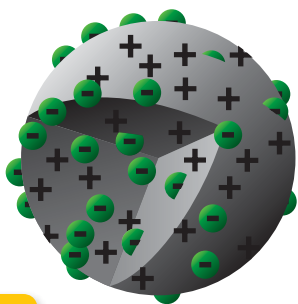
Сучасна модель атома. Досліди Резерфорда

Ви дізнаєтесь

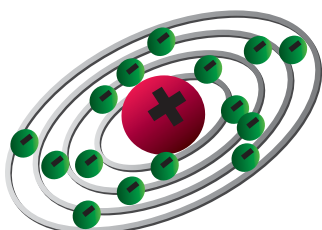
- Як була встановлена будова атома

Пригадайте

- Що вам відомо про будову атома



а



б

Мал. 193. Перші моделі атома: а — Джозефа Томсона; б — Хантаро Нагаоки

Перші моделі атома. Будову атома ви вже багато разів розглядали на уроках природознавства, фізики й хімії. А чи задумувалися ви про те, яким чином її вдалося встановити? Які гіпотези висувалися для теоретичних і практичних досліджень?

Реальна будова атома тривалий час залишалася недослідженою. Також нічого не було відомо про існування частинок, з яких складаються атоми. Поштовхом у дослідженні будови атома стали відкриття, які дали змогу «заглянути в таємниці мікросвіту». Одне з таких відкриттів здійснив англійський фізик Джозеф Джон Томсон, який у 1897 р. експериментально відкрив електрон.

Трохи раніше, у 1896 р., французький фізик Антуан Анрі Беккерель виявив речовини, які здатні випромінювати мікрочастинки. Такі речовини назвали **радіоактивними**. Мікрочастинки, що випромінювалися радіоактивними речовинами, були досліджені Ернестом Резерфордом у 1899 р. Деякі з цих мікрочастинок мали масу, що приблизно в 7300 разів перевищувала масу електрона, а їхній позитивний заряд дорівнював подвоєному елементарному заряду. Резерфорд назвав ці частинки α -частинками (альфа-частинками). (Про інші мікрочастинки, які можуть випромінюватись радіоактивними речовинами, і про саме явище радіоактивності ви дізнаєтесь детальніше в § 33.)

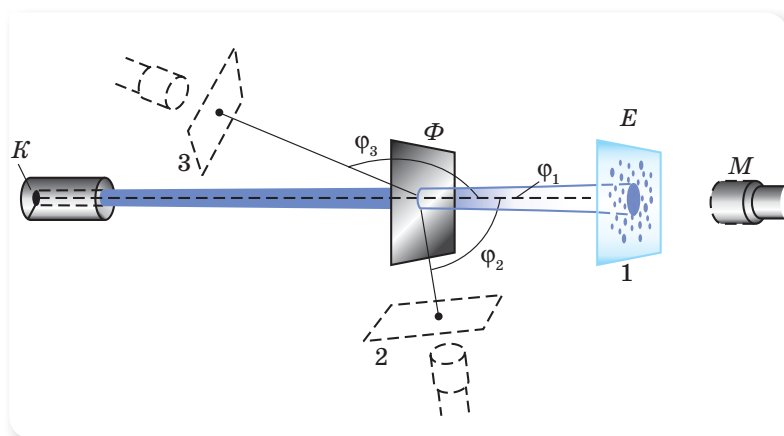
На основі цих відкриттів учені зробили висновок про те, що атом має складну будову. До цього часу атом вважався неподільним і відмінності хімічних властивостей різних речовин не мали свого пояснення. Щоб вирішити цю проблему, Джозеф Томсон запропонував першу модель атома. Він висловив гіпотезу, що «позитивна електрика» розподілена в атомі по сфері, у яку вкраплені електрони, що мають негативний електричний заряд (мал. 193, а).

За цією гіпотезою, в атомі Гідрогену електрон повинен міститися в центрі позитивно зарядженої сфери, а в атомах, що містять більш ніж один електрон, вони мають перебувати в певних місцях, утворюючи стійкі конфігурації. Томсон вважав, що кожна така конфігурація визначає хімічні властивості відповідного атома.

Ще одну модель будови атома в 1904 р. запропонував японський фізик Хантаро Нагаока. Ця модель атома була подібною до планети Сатурн: навколо ядра (позитивно зарядженої центральної частини атома) по кільцеподібних траєкторіях рухалися електрони (мал. 193, б).

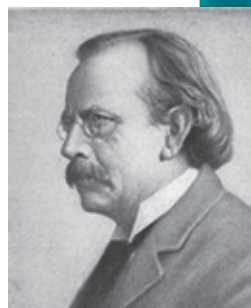
Досліди Е. Резерфорда. Дослідити будову атома за допомогою експериментів вдалося англійському фізику Ернесту Резерфорду.

Ернест Резерфорд, Ернест Марсден і Ганс Гейгер у 1909–1911 рр. здійснили досліди, у яких α -частинками «бомбардували» атоми важких елементів (Ауруму, Аргентуму, Купруму та ін.). Для цих дослідів Резерфорд обрав саме α -частинки, бо вони «вилітали» з радіоактивної речовини з дуже великою швидкістю (близько $10^7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$). Схему дослідів Резерфорда зображено на малюнку 194.



Мал. 194. Схема дослідів Резерфорда: *K* — свинцевий контейнер з радіоактивною речовиною; *E* — екран, покритий сірчастим цинком; *Ф* — золота фольга; *M* — мікроскоп

Від радіоактивної речовини, поміщеної у свинцевий контейнер, α -частинки спрямували на тоненьку золоту фольгу (практично кілька шарів атомів Ауруму). Розсіяні частинки потрапляли на екран, покритий шаром сірчастого цинку, який світиться під ударами швидких заряджених частинок. Спалахи на екрані можна було спостерігати за допомогою мікроскопа. Спостереження розсіяних α -частинок у дослідів Резерфорда можна було проводити під різними кутами φ до початкового напрямку поширення пучка α -частинок.



**Джозеф Джон
Томсон
(1856–1940)**

Англійський фізик. У 1897 р. відкрив електрон, за що в 1906 р. був відзначений Нобелівською премією з фізики в номінації «за дослідження проходження електричного струму через газ». Одним з учнів Томсона був Ернест Резерфорд



**Ернест
Резерфорд
(1871–1937)**

Англійський фізик. Лауреат Нобелівської премії з хімії 1908 р. Усі дослідів, поставлені Резерфордом, мали фундаментальний характер і відрізнялися винятковою простотою і ясністю

Під час дослідів було виявлено:

- більшість α -частинок проходили через тонкий шар металевої фольги, практично не відхиляючись;
- невелика кількість α -частинок відхилялась на значні кути, що перевищували 30° ;
- дуже невелика кількість α -частинок (приблизно одна на десять тисяч) відхилялась на кути, близькі до 180° .

На особливу увагу заслугове останнє спостереження. Фактично α -частинки відлітали назад! Цей факт став неочікуваним, і Е. Резерфорд відчув, що за цим криється щось важливе.

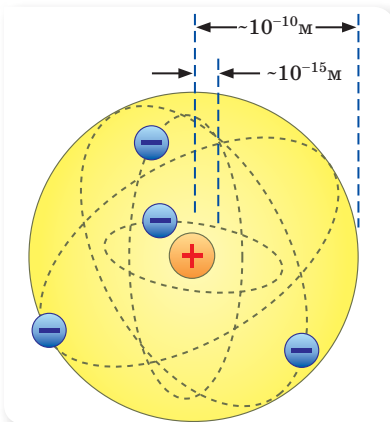
Оскільки побачити атом неможливо, то пояснення зміни напрямку руху α -частинок ґрунтувалося на логічних припущеннях.

Учений ретельно підрахував кількість частинок, що летіли в кожному з напрямків, а потім за допомогою складного, але переконливого математичного аналізу обґрунтував **ядерну модель атома**.

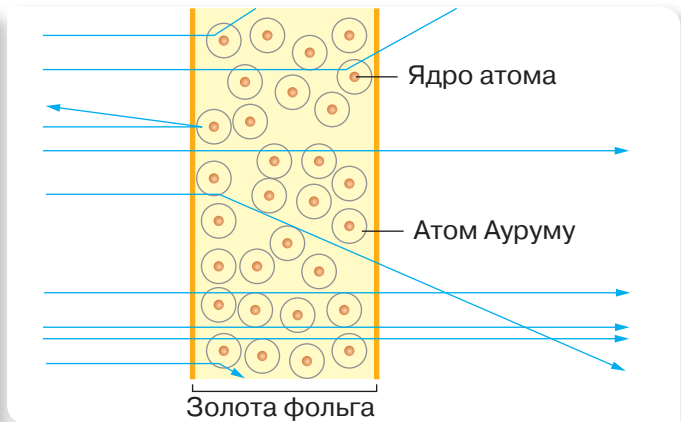
Модель атома Резерфорда. Згідно із запропонованою Ернестом Резерфордом ядерною моделлю майже весь об'єм атома — це порожнина, і практично вся атомна маса й позитивний заряд сконцентровані в його центрі, у маленькому «ядрі» атома, а в просторі, на деякій відстані від ядра, у так званих електронних оболонках, рухаються електрони (мал. 195). Заряд ядра за величиною дорівнює сумарному заряду всіх електронів, що входять до складу атома.

Відповідно до такої моделі легко пояснити зміну напрямків руху α -частинок при проходженні крізь фольгу (мал. 196).

Якщо α -частинка рухається у просторі електронних оболонок атома, то вона не зазнає значної електромагнітної взаємодії й майже не відхиляється від прямолінійної траєкторії руху. Проте якщо α -частинка пролітає досить близько від позитивно зарядженого ядра атома, то кулонівська взаємодія між нею і ядром змушує її відхилитися на певний кут. У разі,



Мал. 195. Планетарна модель атома за Резерфордом



Мал. 196. Траєкторії α -частинок у досліді Резерфорда

якщо α -частинка рухається по прямій, що проходить через центр ядра атома, то при деякому наближенні до ядра на α -частинку починає діяти значна сила відштовхування, яка змушує її змінити напрямок руху на 180° .

Підраховуючи кількість альфа-частинок, розсіяних на різні кути, Резерфорд зміг оцінити лінійні розміри ядра. Діаметр ядра не перевищує 10^{-14} – 10^{-15} м. У той час, як діаметр всього атома має порядок 10^{-10} м. Отже, ядро займає дуже малу частину повного об'єму атома, але містить майже 99,95 % його маси. Якщо обчислити відношення маси ядра до його об'єму

(густину ядра), то це число становитиме $10^{15} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$!

Згодом вдалося встановити таке. Кількість електронів (а отже, і кількість протонів) в атомі будь-якого хімічного елемента збігається з його номером у таблиці Менделєєва.

Модель атома, запропонована Резерфордом, поза сумнівом, стала великим кроком уперед у розвитку знань про будову атома. Проте й вона виявилася нездатною пояснити сам факт тривалого існування атома, тобто його стійкість. Адже електрон, що рухається з прискоренням, має випромінювати електромагнітні хвилі, що приводить до зменшення його енергії. За короткий час (близько 10^{-8} с) усі електрони в атомі Резерфорда мають втратити всю свою енергію й впасти на ядро. Те, що в стійких станах атома цього не відбувається, підтверджує, що внутрішні процеси в атомі не пояснюються класичними законами фізики.

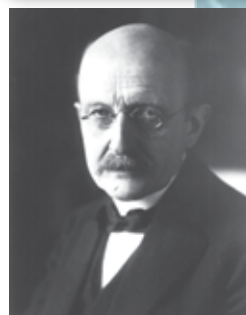
Модель атома Резерфорда-Бора. У 1900 р. німецький фізик Макс Планк висловив гіпотезу про те, що процес поглинання й випромінювання світла здійснюється певними «порціями енергії» — квантами. Після цього, у 1913 р., Нільс Бор зробив першу спробу побудувати якісно нову — **квантову** (відмінну від класичної) теорію будови атома. Учений поставив за мету зв'язати в єдине ціле ядерну модель атома Резерфорда і квантовий характер випромінювання та поглинання світла.

Обґрунтовуючи квантове поглинання та випромінювання світла, Нільс Бор виклав свої припущення у вигляді постулатів (постулат — твердження, яке при побудові наукової теорії приймають без доведення).



Нільс Бор
(1885–1962)

Данський фізик-теоретик, один із творців сучасної фізики. За заслуги у вивченні будови атома став лауреатом Нобелівської премії в 1922 р.



Макс Карл Ернст Планк
(1858–1947)

Німецький фізик-теоретик, заклав основи для побудови квантової механіки. Лауреат Нобелівської премії з фізики 1918 р.

Перший постулат Бора (постулат стаціонарних станів): в атомі існують стаціонарні (що не змінюються із часом) стани, у яких він не випромінює енергії.

Другий постулат Бора: перехід електрона з одного енергетичного рівня на інший супроводжується випромінюванням (або поглинанням) одного кванту (порції) електромагнітного випромінювання з енергією, що дорівнює різниці енергій відповідних рівнів.

Теорія Бора дала можливість пояснити внутрішньоатомні процеси з принципово нових позицій.



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. Опишіть перші моделі атома. Хто є їх творцями?
2. Яка мета стояла перед Резерфордом і його співробітниками? Опишіть будову установки, за допомогою якої було проведено дослідження вивчення будови атома. Які результати досліджень взаємодії альфа-частинок з атомами Ауруму?
3. Опишіть будову атома по Резерфорду.
4. У чому полягали протиріччя між запропонованою планетарною моделлю та умовами стійкого існування атома? Як Н. Бор розв'язав вказане протиріччя?
5. Які експериментальні факти свідчать про складну будову атома?

§ 32

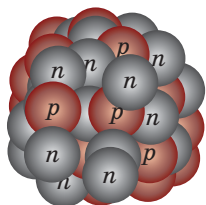
Протонно-нейтронна модель ядра атома. Ядерні сили

Ви дізнаєтесь

- Про ядерну взаємодію як одну з фундаментальних взаємодій у природі

Пригадайте

- Що вам відомо про протон і нейтрон



Мал. 197. Модель атомного ядра

Складові частинки атомного ядра. Нуклони.

До 20-х років ХХ сторіччя фізики вже не сумнівалися в тому, що атомні ядра також мають складну структуру. У цьому їх переконували численні експериментальні факти. Так у 1919 р. Ернест Резерфорд, здійснюючи експерименти з розщеплення ядер атомів багатьох елементів, виявив частинку, яку згодом назвав **протоном** (позначається — p). Він висловив припущення, що протони входять до складу всіх атомних ядер.

Після відкриття протона було висловлено припущення, що ядра атомів складаються тільки з протонів. Однак це припущення виявилось неспроможним, оскільки відношення заряду ядра до його маси є різним для різних ядер.

У 1930 р. Вальтер Боте й Герберт Бекер з Гісенського університету проводили опромінення Берилію альфа-частинками й вивчали утворений при цьому потік нових частинок. Оскільки ці частинки не взаємодіяли з електричним і магнітним полями, було зроблено висновок, що випромінюються електрично нейтральні частинки. Подібні досліді

в 1932 р. повторили Фредерік Жоліо-Кюрі, Марія Склодовська-Кюрі, Джеймс Чедвік. Ці досліді підтвердили існування елементарної частинки, яку тепер називають **нейтроном** (позначається — n).

У 1932 р. після відкриття протона й нейтрона ученими Дмитром Дмитровичем Іваненко (Україна) і Вернером Гейзенбергом (Німеччина) була запропонована протонно-нейтронна модель ядра атома (мал. 197).

Відповідно до цієї моделі:

- ядра усіх хімічних елементів складаються з протонів і нейтронів (нейтрони і протони, як складові частинки ядер, мають спільну назву — нуклони);
- сумарну кількість протонів і нейтронів в атомі називають нуклонним (або масовим) числом і позначають символом A ;
- кількість протонів називають протонним (або зарядним) числом і позначають символом Z ; протонне число відповідає порядковому номеру елемента в Періодичній системі хімічних елементів Д. І. Менделєєва;
- кількість нейтронів дорівнює різниці між масовим і протонним числом ($N = A - Z$);
- заряд ядра обумовлений тільки протонами; кількість протонів у ядрі дорівнює кількості електронів, що обертаються навколо нього.

Для умовного позначення ядер атома хімічного елемента використовують символ A_ZX , де A — нуклонне число; Z — протонне число. Певне атомне ядро з відомими A , Z , і N ще називають *нуклідом*.

Опишемо будову довільного атома. Наприклад, хімічний елемент Алюміній ${}^{27}_{13}\text{Al}$. Його порядковий номер 13, отже в ядрі міститься

13 протонів (протонне число $Z = 13$). Оскільки атом електрично нейтральний, то навколо ядра обертається 13 електронів. Нуклонне число $A = 27$. Визначимо кількість нейтронів у ядрі: $N = A - Z = 27 - 13 = 14$.

Ви звернули увагу, що масове число нам довелося округлити до цілих? У чому тут причина? Річ у тім, що ядра атомів хімічного елемента можуть відрізнятися кількістю нейтронів. Атоми хімічного елемента, у ядрах яких міститься однакова кількість протонів і різна кількість нейтронів, називаються *ізотопами*. Атомна маса природного хімічного елемента в періодичній системі Менделєєва є середньою атомною масою всіх його ізотопів.

Детальніше властивості ізотопів та приклади їх використання ми розглянемо в § 37.

Властивості й природа ядерних сил. Ядра атомів — це дуже стійкі утворення, які стійкіші, ніж атоми. Так, наприклад, щоб розділити ядро Гелію на окремі нуклони, необхідно витратити в сотні тисяч разів більше енергії, ніж для відриву обох його електронів від ядра. Це пояснюється тим, що між нуклонами в ядрі існує особлива, внутрішньоядерна взаємодія, тобто діють особливі — *ядерні сили*. Що ж це за сили?

Ядерні сили мають такі специфічні властивості:

- діють на відстанях, сумірних із розмірами нуклонів (порядку $1 \cdot 10^{-15}$ м), і різко зменшуються при збільшенні відстані (на відстанях $1,4 \cdot 10^{-15}$ м вони вже практично не діють);
- це найпотужніші сили, що є в природі, тому взаємодію частинок у ядрі часто називають **сильною взаємодією**;
- ядерним силам властиве насичення (окремих нуклон взаємодіє не з усіма іншими нуклонами, а лише з найближчими сусідами);
- ядерним силам властива зарядова незалежність (заряджені й незаряджені частинки притягуються з однаковою силою, тобто сила взаємодії між двома протонами дорівнює силі взаємодії між двома нейтронами й дорівнює силі взаємодії між протоном і нейтроном);
- ядерні сили не є центральними (тобто вони не направлені уздовж прямої, що сполучає центри взаємодіючих частинок);
- ядерні сили є так званими обмінними силами (взаємодія між нуклонами виникає внаслідок обміну між ними деякою третьою частинкою).



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. У чому суть протонно-нейтронної моделі ядра атома?
2. Які сили діють між нуклонами в ядрі? Опишіть їхні особливості. До якого типу взаємодії належать ядерні сили?
3. Як у ядерній фізиці позначають хімічний елемент? Схарактеризуйте за цими параметрами Літій.
4. Яка частинка має більшу масу: протон чи електрон? У скільки разів більшу?



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 18

1. Порядковий номер Калію в таблиці Менделєєва 19. Масове число 39. Визначте для атома Калію кількість електронів, протонів і нейтронів.
2. Визначте кількість електронів в атомах хімічних елементів Магнію й Алюмінію.
3. У ядрі атома деякого хімічного елемента міститься 56 протонів. Назвіть цей елемент.
4. Визначте кількість протонів в атомах хімічних елементів Фосфору і Хлору.
5. Назвіть хімічні елементи, в атомному ядрі яких міститься така кількість нуклонів: а) $7p, 7n$; б) $18p, 22n$; в) $3p, 4n$; г) $84p, 126n$.
6. Ядро атома певного елемента має електричний заряд $4,8 \cdot 10^{-18}$ Кл. Який це елемент?

§ 33

Радіоактивність. Радіоактивні випромінювання

Історія відкриття явища радіоактивності.

У § 28 зазначалося, що в 1889 р. були відкриті Х-промені (рентгенівські промені), що проходили крізь дерево, картон та інші не прозорі для видимого світла речовини. Дослідження цих променів привело до нового відкриття. Так було висловлено *припущення, що рентгенівські промені можуть виникнути під час короткочасного світіння деяких речовин, якщо їх перед цим опромінити сонячним світлом.*

Для перевірки цього припущення французький учений-експериментатор Антуан Анрі Беккерель обрав для досліджень солі урану. Щоб виявити, чи випромінюють солі урану рентгенівські промені, учений викладав крупинки солі на фотопластинку, яку щільно загорнув у чорний папір (таким чином пластинка була захищена від дії сонячних променів). Після того, як підготовлене обладнання декілька годин перебувало під яскравим сонячним світлом, фотопластинку проявляли. Виявилось, що в тих місцях, де лежала сіль, дійсно з'являлись темні плями. Оскільки фотопластинка була захищена від сонячних променів, то ці плями з'явилися внаслідок дії променів, що випромінювалися саме сіллю урану.

Подальше дослідження й відкриття нового явища пов'язане з випадковістю. Була похмура погода, і Беккерель не міг проводити нові досліди, тому він залишив підготовлену фотопластинку й солі урану в шухляді стола. Через кілька днів він дістав фотопластинку й про всяк випадок проявив її. Як же він здивувався, коли на проявленій фотопластинці в місцях, де лежала сіль, знову виявив темні плями. Отже, солі урану можуть випромінювати без взаємодії із сонячними променями!

У 1896 р. Анрі Беккерель на засіданні Французької академії наук повідомив, що промені, які випромінюються речовинами, до складу яких входить Уран, проникають через непрозорі для світла предмети подібно до Х-променів. Ці промені Беккерель назвав **урановими**. Пізніше вони отримали назву **радіоактивних**, а саме явище назвали **радіоактивністю** (від лат. *radio* — «випромінюю» й *activus* — «дієвий»).

Подальші дослідження радіоактивних променів тісно пов'язані з іменами подружжя: польської дослідниці Марії Склодовської та її чоловіка — француза П'єра Кюрі. Марія Склодовська перевірила на радіоактивність усі відомі на той час хімічні елементи й виявила, що радіоактивні властивості, окрім Урану, має також Торій. Разом із чоловіком вони відкрили й нові елементи, зокрема Полоній і Радій, які також виявилися радіоактивними. (Радіоактивні елементи були виділені з природних мінералів.) Згодом навчилися отримувати й штучні радіоактивні ізотопи. Практично кожен елемент має свій радіоактивний ізотоп.

Ви дізнаєтесь

- Що відбувається внаслідок руйнування ядра атома

Пригадайте

- На які види умовно поділяють електромагнітні хвилі



**Марія
Скłodовська-
Кюрі
(1867–1934)**

Фізик і хімік, лауреат
двох Нобелівських
премій



**П'єр Кюрі
(1859–1906)**

Французький фізик,
лауреат Нобелів-
ської премії

Властивості радіоактивних променів. Особлива заслуга в дослідженні радіоактивного випромінювання належить Марії Скłodовській-Кюрі та Ернесту Резерфорду.

Усвідомлюючи, що радіоактивні речовини випромінюють заряджені мікрочастинки, які мають взаємодіяти з магнітним полем, учені спрямували радіоактивні промені між полюсами магніту. У 1899 р. Резерфорд виявив, що радіоактивне випромінювання неоднорідне й складається з потоку позитивно заряджених α (альфа)-частинок, негативно заряджених β (бета)-частинок й електрично нейтрального випромінювання, яке отримало назву γ (гамма)-променів.

На малюнку 198 зображено схему експерименту, що дозволяє виявити склад радіоактивного випромінювання. У магнітному полі α - і β -частинки відхиляються в протилежні боки, причому β -частинки відхиляються значно більше, а от γ -промені в магнітному полі взагалі не відхиляються.

У результаті досліджень було встановлено таке.

Кожна **α -частинка** складається з 2 нейтронів і 2 протонів, тобто є ядром атома Гелію (мал. 199).

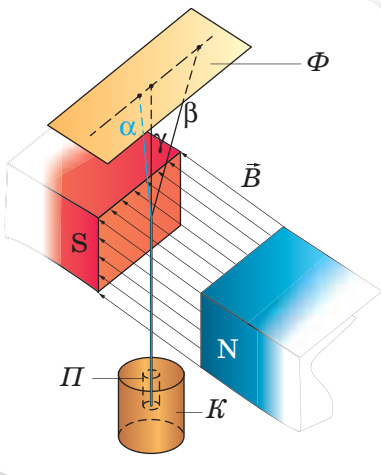
Джерелом α -частинок є атоми важких елементів. Позитивний заряд α -частинки вдвічі перевищує елементарний електричний заряд, тобто $q_\alpha = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл. Маса α -частинки дуже значна і приблизно в 7300 разів більша за масу електрона, тобто $m_\alpha = 6,67 \cdot 10^{-27}$ кг. Швидкість руху α -частинок є досить великою (порядку $10^7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$), що зумовлює наявність

значної кінетичної енергії. У повітрі вони можуть пройти шлях 2–9 см, у твердій речовині — доли міліметра, тобто пройти крізь звичайний аркуш паперу α -частинки вже не можуть. Якщо людина працює з речовиною, що випромінює α -частинки, то вона може захистити свої руки за допомогою гумових рукавичок.

Потік α -частинок іноді називають α -променями.

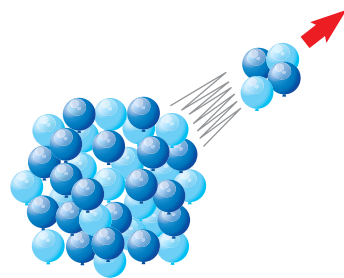
Бета-частинки (або β -промені) — це потік електронів. Швидкості β -частинок можуть наближатись до швидкості світла. Пробіг β -частинок у повітрі може досягати декількох метрів, а в твердій речовині — декількох сантиметрів. Однак вони легко затримуються тонким листом металу.

Мал. 198. Схема досліду з виявлення α -, β -, γ -променів: K — свинцевий контейнер; Π — радіоактивний препарат; Φ — фотопластинка



Гамма(γ)-промені — це електромагнітна хвиля, що несе енергію. Довжина хвилі γ -променів є значно меншою від довжини хвилі рентгенівських променів, що пояснює їхню високу проникну здатність. Якщо рентгенівські промені проникають крізь тканини живого організму, то γ -промені проникають крізь шари металу. Для поглинання γ -променів потрібен шар свинцю завтовшки понад 20 см.

Після встановлення складу радіоактивного випромінювання стала зрозумілою природа явища радіоактивності.



Мал. 199. Випромінювання α -частинки

Радіоактивність — це здатність ядер деяких хімічних елементів самочинно розпадатися (перетворюватися на ядра інших елементів), випромінюючи при цьому заряджені мікрочастинки й електромагнітні хвилі.

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Яка особливість відкритого Анрі Беккерелем випромінювання вказувала на його незвичайність?
2. Чому для дослідження властивостей радіоактивного випромінювання використовували метод відхилення в магнітному полі?
3. Які спільні й відмінні ознаки мають радіоактивні частинки? Опишіть властивості α -, β -, γ -променів.
4. У чому суть явища радіоактивності? Чому вивчення явища радіоактивності допомогло вченим у дослідженні будови атомів?
- 5*. Чому під час радіоактивного розпаду з ядра атома вилітає саме α -частинка, а не окремо один або два протони чи нейтрони?

§ 34

Правила радіоактивного зміщення

Правила радіоактивного зміщення. У § 32 ми зазначали, що певне атомне ядро з відомими A , Z , і N називають нуклідом. Відповідно ядро, що здатне до радіоактивного випромінювання, називають **радіоактивним нуклідом**, або **радіонуклідом**.

Після дослідження природи радіоактивного випромінювання і встановлення нейтронно-протонної будови ядра атома виникли нові запитання:

Ви дізнаєтесь

- Звідки в ядрі береться електрон

Пригадайте

- Характеристики радіоактивних випромінювань

- що відбувається з радіонуклідом після того, як він втратить 2 прони і 2 нейтрони (α -частинку);
- якщо радіоактивне випромінювання утворюється внаслідок розпаду атомного ядра, то звідки в ядрі беруться електрони (β -частинки)?

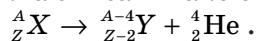
Пошук відповідей на ці та інші запитання утруднений ще й тим, що людина не може бачити мікрочастинки безпосередньо. Для проведення досліджень були використані як експериментальні, так і теоретичні методи досліджень, сконструйовані спеціальні прилади та пристрої, які дали змогу фіксувати й ідентифікувати мікрочастинки. Це дало змогу вивчити особливості ядерних перетворень, що відбуваються під час розпаду радіонуклідів.

Процес радіоактивного розпаду атомних ядер відбувається у строгій відповідності із законами збереження електричного заряду, кількості нуклонів (масового числа), закону збереження енергії. Із цих законів витікають **правила радіоактивного зміщення**. Застосування цих правил дозволяє визначити, на скільки позицій у періодичній системі хімічних елементів і в якому напрямку зміститься елемент, що утворився в результаті радіоактивного розпаду, в порівнянні з місцем розташування хімічного елемента, що зазнав розпаду.

Правило зміщення для α -розпаду. Під час α -розпаду радіоактивний атом випромінює α -частинку. Саме тому його атомний номер зменшується на 2 одиниці, а масове число — на 4. При цьому елемент зміщується на 2 клітинки до початку періодичної системи хімічних елементів.

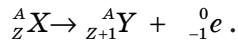
Наприклад, під час α -розпаду ізотоп Урану перетворюється на Торій: ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$. Суми масових чисел ($238 = 234 + 4$) й атомних номерів ($92 = 90 + 2$) у правій і лівій частинах схеми перетворення обов'язково мають бути однаковими.

Узагальнено α -розпад можна описати такою схемою:

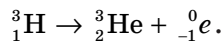


Правило зміщення для β -розпаду. Під час β -розпаду ядро радіоактивного атома випромінює β -частинку. При цьому його атомний номер збільшується на 1, а масове число не змінюється. Елемент зміщується на 1 клітинку до кінця періодичної системи хімічних елементів.

Узагальнено β -розпад можна описати такою схемою:



Наприклад, під час β -розпаду радіоактивний ізотоп Гідрогену перетворюється на ізотоп Гелію:



Суми масових чисел ($3 = 3 + 0$) й атомних номерів ($1 = 2 + (-1)$) у правій і лівій частинах схеми перетворення обов'язково мають бути однаковими.

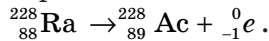
Якщо механізм α -розпаду дістав просте і природне пояснення, то механізм β -розпаду довгий час залишався не розгаданим. Дійсно, звідки при β -розпаді беруться електрони, адже їх немає у складі ядра атома? Зрозумі-

міло, що β -частинка не є електроном з оболонки атома, тому що видалення електрона з оболонки — це йонізація атома, у результаті якої хімічна природа атома не змінюється. Таким чином, оскільки β -частинка не є складовою ядра і не є електроном, вирваним з оболонки атома, можна припустити, що β -частинка (електрон) утворюється в результаті якогось процесу, що відбувається всередині радіонукліда. І дійсно, у радіоактивному ядрі можливе перетворення нейтрона в протон. У результаті цього утворюється електрон і ще одна частинка (antineutrino), які вилітають із ядра, а протони й нейтрони, що залишились, утворюють нове ядро. Згодом були відкриті й інші процеси перетворення частинок та виявлені нові частинки (і їхні античастинки), що зумовило появу нового напрямку у фізиці — *фізики елементарних частинок*.

При γ -розпаді частинки не випромінюються. Тому радіоактивні перетворення атомів під час γ -розпаду відбуваються лише за рахунок зміни енергії атомного ядра. А отже, під час γ -розпаду елемент не зміщується в періодичній системі хімічних елементів.

Радіоактивний ряд. Радіоактивний розпад, як правило, супроводжується кількома послідовними перетвореннями. Наприклад, ізотоп Торій-232 розпадається, випромінюючи α -частинку, і перетворюється на Радій-228: ${}^{232}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{228}_{88}\text{Ra} + {}^4_2\text{He}$.

Радій-228 — нестійкий радіонуклід, який також розпадається, випромінюючи β -частинку, і перетворюється на Актиній-228:

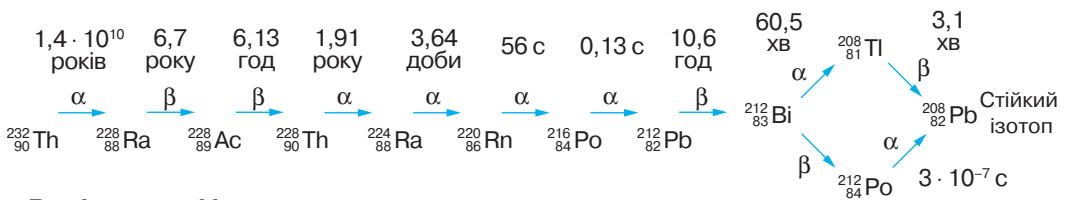


Цей процес послідовного перетворення ізотопів триває доти, поки не утвориться стійкий елемент, у даному випадку Плюмбум-208 (${}^{208}_{82}\text{Pb}$).

На малюнку 200 зображено повний ряд радіоактивних перетворень, що починається з Торію-232.

Оскільки в результаті радіоактивних перетворень утворюються нові елементи, то, за аналогією з хімічними реакціями, радіоактивний розпад ще називають *ядерною реакцією*.

Період напіврозпаду елементів



Радіоактивні ізотопи

Мал. 200. Ряд радіоактивних перетворень



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. Які закони збереження виконуються під час радіоактивного розпаду?
2. У чому суть правил зміщення? Поясніть, як виконуються правила зміщення в такій реакції: ${}_{88}^{226}\text{Ra} \rightarrow {}_{86}^{222}\text{Ra} + {}_2^4\text{He}$.
3. Чи зміниться хімічна природа елемента в разі випромінювання ним гамма-променів? Альфа-частинок?
4. Які зміни відбудуться з ядром атома Ксенону, якщо воно втратить один нейтрон?



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 19

1. Ядро атома ${}_{88}^{225}\text{Ra}$ зазнало β -розпаду. Застосовуючи правила зміщення, запишіть схему перетворення.
2. Ядро якого елемента утворилося після α -розпаду ізотопу ${}_{86}^{220}\text{Rn}$?
3. У верхніх шарах атмосфери під дією космічних променів утворюється радіоактивний ізотоп Карбону-14. У який елемент він перетвориться під час β -розпаду? Застосовуючи правила зміщення, запишіть схему перетворення.
4. Альфа-частинку поглинула речовина. Де поділась α -частинка?
5. На який елемент перетворюється ${}_{92}^{328}\text{U}$ після трьох α -розпадів і двох β -розпадів?
6. Унаслідок радіоактивного розпаду ядро ${}_{92}^{328}\text{U}$ перетворюється на ядро ${}_{82}^{206}\text{Pb}$. Скільки α - і β -розпадів при цьому відбувається?

§ 35

Активність радіоактивної речовини. Закон радіоактивного розпаду

Ви дізнаєтесь

- Про характерні особливості радіонуклідів

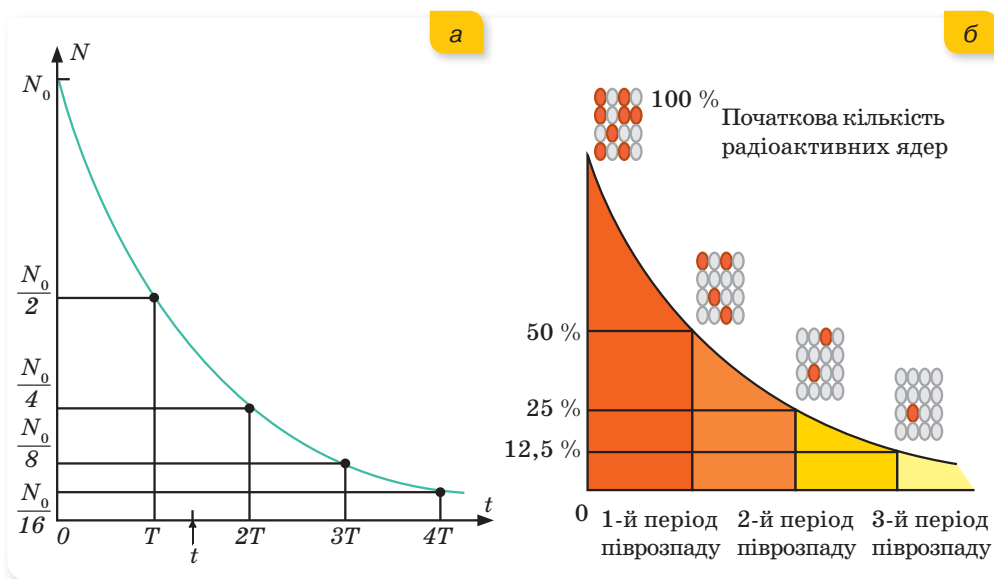
Пригадайте

- Процес радіоактивних перетворень

Властивості радіоактивного розпаду. З'ясувавши, як саме відбувається процес радіоактивних перетворень, цікаво буде дізнатися про деякі його особливості. Наприклад, маємо деяку кількість радіоактивної речовини. Чи можна з'ясувати, ядро якого з атомів розпадеться першим, а якого — наступним або останнім? Виявилось, що дізнатися про це неможливо. Процес радіоактивного розпаду того чи іншого ядра є випадковою подією.

Проте встановлено, що кількість ядер атомів, які розпадаються, весь час змінюється. І ця зміна підпорядковується певній закономірності, яку можна зобразити графічно (мал. 201).

Якщо в початковий момент часу ($t = 0$) було N_0 радіоактивних ядер, то за деякий час їхня кількість стане вдвічі меншою — $\frac{N_0}{2}$. Ще через такий самий проміжок часу їх уже буде $\frac{N_0}{4}$ і т.д. Час, за який кількість радіонуклідів зменшується вдвічі, називають періодом піврозпаду радіоактивної речовини й позначають літерою T .



Мал. 201. Закономірності радіоактивного розпаду: графік (а) і діаграма (б) залежності кількості ядер, що не розпалися, від часу

Період піврозпаду, T — це фізична величина, що дорівнює часу, протягом якого розпадається половина наявної кількості радіонуклідів певної речовини.

Одиниця періоду піврозпаду в СІ — секунда (1 с).

Якщо в початковий момент часу ($t = 0$) було N_0 радіоактивних ядер, то за період піврозпаду T кількість їх стане вдвічі меншою $\frac{N_0}{2}$. Ще через такий самий час T їх уже буде $\frac{N_0}{4}$ і т.д. Тобто за n періодів піврозпаду ($n = \frac{t}{T}$) радіоактивними залишаться лише N ядер. Цю закономірність називають *законом радіоактивного розпаду*.

Закон радіоактивного розпаду — це фізичний закон, що описує математичну залежність кількості радіоактивних атомів N , які не розпалися протягом деякого часу t після початку відліку, від початкової кількості атомів:

$$N = N_0 \cdot \frac{1}{2^n} = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}.$$

Що менший період напіврозпаду, то меншим є час життя атомів і швидше відбувається розпад.

Закон розпаду атомів не є законом, що управляє розпадом одного атома. Наприклад, атом урану може спокійно пролежати в ґрунті або гірській породі мільярди років і раптом розпастись, а в той же час сусідні атоми урану залишатимуться в попередньому стані.

Передбачити, коли розпадеться даний атом, неможливо. Певний зміст мають лише твердження про середньостатистичну поведінку великої кількості атомів. Отже, закон радіоактивного розпаду визначає саме середньостатистичну кількість атомів, що розпадуться за даний інтервал часу.

Активність радіонуклідів. Різні радіоактивні речовини мають різні періоди піврозпаду: одні з них розпадаються швидше, інші — повільніше.

З практичної точки зору важливою характеристикою процесу радіоактивного розпаду є швидкість, з якою розпадається та чи інша радіоактивна речовина, іншими словами, активність радіоактивного елемента.

Активність радіоактивного елемента, A — це фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості розпадів, що відбуваються в певній кількості радіоактивної речовини за одиницю часу.

У результаті фізичних досліджень і математичних обчислень встановлено, що активність радіоактивного елемента прямо пропорційна кількості радіонуклідів (N) й обернено пропорційна періоду їхнього піврозпаду (T):

$$A = \frac{0,69 \cdot N}{T}.$$

Величину $\frac{0,69}{T}$ називають **сталю радіоактивного розпаду** й позначають літерою λ . Отже, формулу для активності радіоактивного елемента можна записати ще й так: $A = \lambda \cdot N$.

Активність вимірюється в розпадах за секунду. За одиницю активності в Міжнародній системі одиниць (СІ) прийнято один розпад за секунду. Ця одиниця названа беккерелем (Бк) на честь французького фізика Антуана Анрі Беккереля. 1 Бк — це активність радіоактивного елемента, у якому за одну секунду відбувається один розпад.

Оскільки швидкість розпаду радіоактивних ізотопів різна, то однакові за масою ядра радіоактивних ізотопів мають різну активність. Що більше ядер розпадається за одиницю часу, то більшою є активність даного радіоактивного ізотопу.

З плином часу кількість ядер, що не розпалися внаслідок радіоактивних перетворень, зменшується, а отже, зменшується й активність радіоактивного елемента.



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Дайте визначення періоду піврозпаду.
2. Дайте визначення активності радіонукліда. У яких одиницях вона вимірюється?
3. Як пов'язані між собою півперіод піврозпаду, стала радіоактивного розпаду, активність радіоактивного розпаду?
4. Як із часом змінюється активність радіоактивного елемента?
5. Чому радіоактивні елементи з порівняно невеликим періодом піврозпаду (наприклад, радій) не зникли за час існування Землі, адже ядра їхніх атомів весь час перетворюються на інші ядра?



Вчимося розв'язувати задачі

Задача 1. Кількість атомів радіоактивного радону зменшилася у 8 разів за 11,4 доби. Визначте період піврозпаду радону.

Дано:

$$t = 11,4 \text{ доби}$$

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{8}$$

T — ?

Розв'язання:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}, \quad \frac{N}{N_0} = 2^{-\frac{t}{T}} = \frac{1}{8} = \frac{1}{2^3} = 2^{-3}.$$

$$\frac{t}{T} = 3; \quad T = \frac{t}{3} = \frac{11,4 \text{ діб}}{3} = 3,8 \text{ доби.}$$

Відповідь: $T = 3,8$ доби.

Задача 2. Період піврозпаду ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ (радон) дорівнює 3,8 доби. Через який час маса радону зменшиться в 4 рази?

Дано:

$$t = 3,8 \text{ доби}$$

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{4}$$

t — ?

Розв'язання:

$$m = m_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}; \quad \frac{m}{m_0} = \frac{1}{4} = 2^{-\frac{t}{T}} = 2^{-2}; \quad \frac{t}{T} = 2.$$

$$t = 2T = 7,6 \text{ доби.}$$

Відповідь: 7,6 доби.

Задача 3. Період піврозпаду ${}^{226}_{88}\text{Ra}$, становить 1620 р. Визначте постійну радіоактивного розпаду.

Дано:

$$T = 1620 \text{ р.}$$

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{4}$$

λ — ?

Розв'язання:

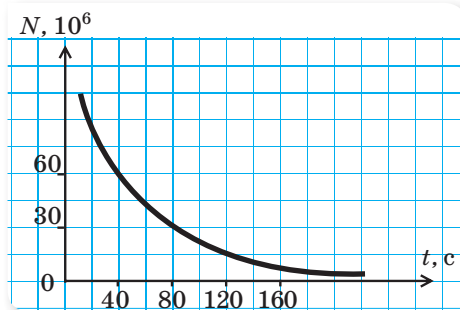
$$\lambda = \frac{0,693}{T} \approx \frac{0,7}{T} = \frac{0,7}{1620 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} = 1,35 \cdot 10^{-11} \frac{1}{\text{с}}$$

Відповідь: $\lambda = 1,354 \cdot 10^{-11} \text{ с}^{-1}$.

Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 20

1. Яка частка радіоактивних ядер деякого елемента розпадається за час, що дорівнює половині періоду піврозпаду?
2. Активність радіоактивного елемента зменшилася в 4 рази за 8 днів. Визначте період піврозпаду.
3. Активність препарату дорівнює 25 МБк. Скільки ядер розпадеться при цьому за одиницю часу?
4. За який час у препараті з постійною активністю 8,2 МБк розпадеться $25 \cdot 10^8$ ядер?
5. Період напіврозпаду ${}^{60}_{27}\text{Co}$ становить приблизно 5,3 року. Визначте сталу розпаду.
6. Інтервал часу, за який кількість радіоактивних атомів Радію-226 скоротилася удвічі, у 53 рази більший за аналогічний інтервал часу для радіоактивних атомів Цезію-137. У якого з цих елементів більша стала радіоактивного розпаду? у скільки разів більша?
7. Графік залежності кількості (N) ядер, що не розпались, від часу (t) для деякої радіоактивної речовини зображено на малюнку 202. Визначте період піврозпаду (T) цієї речовини.



Мал. 202

8. Сталі розпаду радіоактивного Кобальту-60 та радіоактивного Йоду-131 відповідно: $4,15 \cdot 10^{-9} \text{ с}^{-1}$, та $9,98 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$. Визначте для кожної речовини інтервал часу, за який первинна кількість радіоактивних атомів скоротиться удвічі.
9. Маса радіоактивного срібла зменшилася у 8 разів за 810 діб. Визначте період піврозпаду радіоактивного Аргентуму.
10. Стала розпаду радіоактивного Урану-235 дорівнює $3,14 \cdot 10^{-17} \text{ с}^{-1}$. Скільки атомів Урану-235 міститься в радіоактивному препараті, якщо його активність складає 157 Бк?

§36

Йонізаційна й біологічна дії радіоактивного випромінювання

Йонізація речовини при її взаємодії з радіоактивним випромінюванням. Ви неодноразово чули про небезпечний вплив радіації (терміном *радіація*, що в перекладі з латинської означає «випромінювання», називають радіоактивні промені). Небезпеку радіоактивних променів для живого організму дослідники виявили із самого початку відкриття радіоактивності. Так, Анрі Беккерель і Марія Склодовська-Кюрі, які вивчали властивості радіоактивних елементів, отримали сильні опіки шкіри від випромінювання радію. У чому ж небезпека радіації та які засоби слід вживати для захисту живого організму від її негативного впливу?

Як ми вже з'ясували, радіоактивне випромінювання має досить велику енергію і його дія на речовину, зокрема й на живі організми, полягає в тому, що воно йонізує атоми й молекули цих речовин. Тому радіоактивне випромінювання ще називають йонізаційним випромінюванням.

Розрізняють безпосередньо йонізуюче й побічно йонізуюче випромінювання. Безпосередньо йонізуюче випромінювання є потоком заряджених частинок, кінетична енергія яких достатня для йонізації внаслідок зіткнення з атомами речовини. Побічно йонізуюче випромінювання є потоком незаряджених часток (наприклад, нейтронів), які можуть створювати безпосередньо йонізуюче випромінювання чи спричинювати ядерні перетворення при взаємодії з речовиною.

Йонізуюче випромінювання може бути як потоком частинок (електрони, нейтрони, α -частинки), так і електромагнітними хвилями (гамма- та рентгенівське випромінювання).

Характерною особливістю йонізаційної дії α -частинок є те, що вони мають досить значну енергію і, пролітаючи крізь речовину, поступово її втрачають, йонізуючи молекули речовини, і врешті зупиняються. У повітрі за нормальних умов α -частинки утворюють приблизно 50 000 пар йонів на 1 см шляху.

Альфа-частинки інтенсивно взаємодіють з різними речовинами й легко поглинаються ними. Наприклад, вони повністю поглинаються аркушем паперу (мал. 203, с. 166).

Найбільшу небезпеку для людей становить потрапляння α -частинок всередину організму з продуктами харчування, водою та повітрям. Ці частинки практично не виводяться з організму!

Ви дізнаєтесь

- У чому небезпека радіації для живого організму

Пригадайте

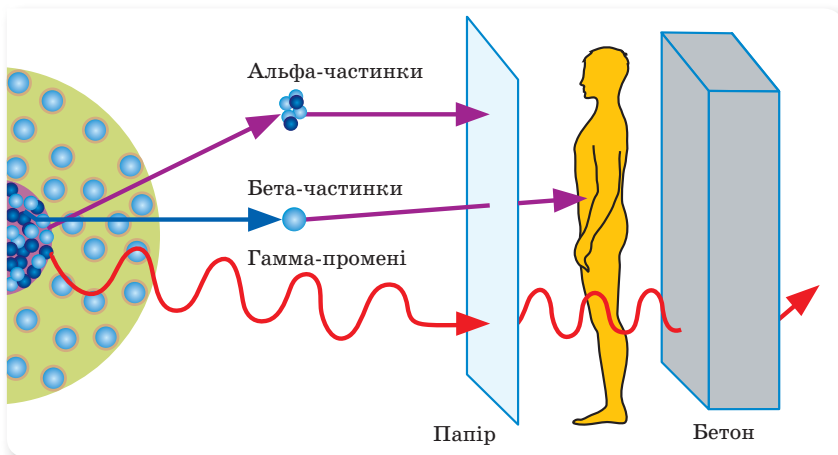
- Що таке йонізація
- Які характеристики α -, β - і γ -променів

Особливістю йонізаційної дії потоку β -частинок є те, що швидкість руху β -частинок, отриманих унаслідок радіоактивного розпаду, порівнянна зі швидкістю світла. Маючи малу масу й велику швидкість руху, β -частинки мають більшу проникну здатність, ніж α -частинки (мал. 203). Вони можуть переміститись у повітрі на відстань до 15 м, у воді й біологічній тканині — до 12 мм.

При взаємодії з частинками речовини (атомними ядрами або орбітальними електронами) β -частинки можуть змінювати напрямок руху.

Вплив β -частинок на біологічну тканину є більш небезпечним у порівнянні з α -частинками, тому що β -частинки спричинюють йонізацію атомів, що призводить до порушення синтезу білка та функцій організму в цілому. Потік β -частинок діє, як правило, на верхні шари шкіри. Під час аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 р. пожежники отримали опіки шкіри в результаті дуже сильного опромінення β -частинками. Якщо речовина, що випромінює β -частинки, потрапляє в організм, то вона може спричинити опіки внутрішніх тканин.

Взаємодія γ -променів з речовиною істотно відрізняється від взаємодії α - і β -частинок. Заряджені частинки передають свою енергію частинкам речовини внаслідок великої кількості зіткнень, а γ -промені віддають майже всю свою енергію при одноразовій взаємодії. Проте ймовірність такої взаємодії дуже низька, бо γ -промені мають набагато більшу проникну здатність у порівнянні із зарядженими частинками (мал. 203). Гамма-промені легко проникають не лише крізь тіло людини, а й крізь доволі товсті шари металу та бетону.



Мал. 203. Проникна здатність радіоактивного випромінювання

Біологічна дія радіаційного випромінювання. Будь-який вид йонізуючих випромінювань викликає біологічні зміни в живому організмі як при зовнішньому (джерело міститься поза організмом), так і при внутрішньому (радіоактивні речовини потрапляють всередину організму з їжею,

через органи дихання) опроміненні. Основний механізм дії пов'язаний із процесами йонізації атомів і молекул живої матерії, зокрема молекул води, що містяться в клітинах. Саме молекули води руйнуються найбільш інтенсивно. Ці зміни можуть бути поворотними або безповоротними й спричинюють променеви хворобу.

Дія йонізуючого випромінювання на живий організм залежить від кількості енергії, що отримана організмом унаслідок йонізаційного впливу (дози опромінення). Великі дози опромінення вбивають клітини організму, зупиняють їх поділ, пригнічують ряд біохімічних процесів, що лежать в основі життєдіяльності клітин, а також пошкоджують структуру ДНК, позбавляючи клітину інформації, що лежить в основі її життєдіяльності. Тому радіоактивне опромінення використовується в медицині для пригнічення розвитку ракових пухлин. Малі дози опромінення, навпаки, спонукають деякі клітини до посилення обміну речовин і нескінченного поділу. Але потрібно запам'ятати, що безпечною для організму дози радіоактивного опромінення не існує. Будь-яке радіоактивне опромінення є шкідливим.

Захист від йонізуючого випромінювання. Для зниження загрози опромінення навколо джерел радіоактивного випромінювання розташовують біологічний захист із речовин, що добре поглинають заряджені частинки й електромагнітне випромінювання. Найпростішим методом захисту є віддалення на достатню відстань від джерел радіоактивного випромінювання. Якщо це неможливо, то для захисту використовують перешкоди з різних поглинальних матеріалів, а робота з радіаційними препаратами здійснюється за допомогою маніпуляторів. Навколо особливо потужних джерел (ядерних реакторів, прискорювачів частинок) споруджують залізо-бетонні стіни відповідної товщини.

Радіоактивні речовини можуть потрапити в організм під час вдихання забрудненого радіоактивними елементами повітря, із харчовими продуктами або водою. Щоб деякою мірою захистити організм від радіації, застосовують речовини-оксиданти, що належать до радіопротекторів (їх необхідно вживати до опромінення). До радіопротекторів належать бобові (горох, квасоля), фрукти (яблука, абрикоси, сливи, персики, вишні), горіхи та чай.



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. Що називають йонізуючим випромінюванням?
2. Назвіть особливості взаємодії з речовиною α -, β - і γ -випромінювання.
3. За певних умов йонізуюче випромінювання може бути помічене й без приладів, лише за допомогою органів чуття людини. Коли це буває й чому?

§ 37

Ізотопи. Використання ізотопів

Ви дізнаєтесь

- Яке практичне значення мають ізотопи

Пригадайте

- Що таке ізотоп

Ізотопи. У § 32 ми вже з'ясували, що кожний хімічний елемент має різновиди, які називаються ізотопами.

Ізотопи — різновиди одного й того самого хімічного елемента, що близькі за своїми фізичними й однакові за хімічними властивостями.

Ізотопи певного хімічного елемента займають одну клітинку періодичної системи елементів Менделєєва. Ізотопи неможливо виявити хімічним способом (вони мають однакові хімічні властивості). Ядра атомів ізотопів містять однакову кількість протонів (Z), але різну кількість нейтронів (N). Саме тому ізотопи мають різну атомну масу.

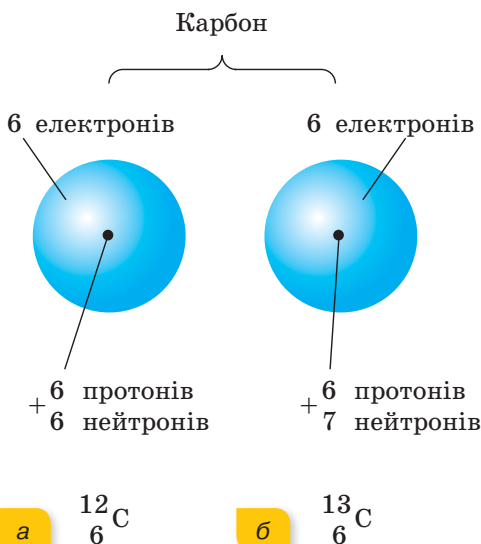
Наразі відомі ізотопи всіх хімічних елементів. Наприклад, Гідроген має три ізотопи:

${}^1_1\text{H}$ — Гідроген звичайний — основний (стабільний) ізотоп;

${}^2_1\text{H} = {}^2_1\text{D}$ — Дейтерій (важкий водень), що входить як домішка до природного водню (його вміст становить $\frac{1}{4500}$ частину);

${}^3_1\text{H} = {}^3_1\text{T}$ — Тритій (надважкий водень), який отримують штучно.

Карбон має два ізотопи (мал. 204).



Мал. 204. Ізотопи Карбону

Атомна маса природного хімічного елемента в періодичній системі Менделєєва є середньою атомною масою його ізотопів. Так, атомна маса Хлору 35,5 — середня маса двох його ізотопів з атомними масами 35 і 37. Щоб визначити їх відсотковий вміст, застосовують такий спосіб: нехай маємо 100 атомів хлору, з них ізотопів ${}^{35}_{17}\text{Cl} — x$; ${}^{37}_{17}\text{Cl} — (100 — x)$. Тоді

$$\frac{35 \cdot x + 37 \cdot (100 - x)}{100} = 35,5.$$

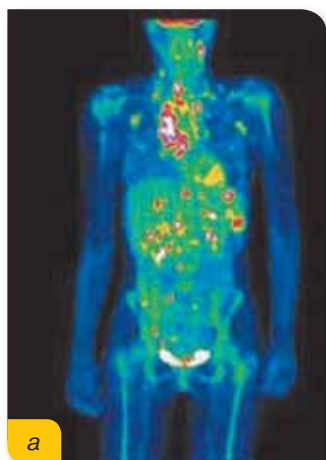
Розв'язуючи вираз, отримаємо: ${}^{35}_{17}\text{Cl} = 75\%$; ${}^{37}_{17}\text{Cl} = 25\%$. При цьому кількісне співвідношення ізотопів для певного хімічного елемента стає й не залежить від способу його видобування.

Властивості й використання ізотопів. Ізотопи можуть бути стабільними та нестабільними (*радіоактивними*). Залежно від періоду піврозпаду, усі радіоактивні ізотопи прийнято поділяти на дві групи: короткотривалі ($T < 10$ діб) і довготривалі ($T > 10$ діб). Як правило, у природних умовах трапляються тільки стабільні ізотопи, проте в природі можна виявити й деякі радіоактивні ізотопи, в основному ті, у яких період напіврозпаду перевищує вік Землі. Ці ізотопи не встигли розпастися за час існування нашої планети (наприклад: K-40, Th-232 або U-238). Нині відомо близько 270 стабільних ізотопів і більш як 2000 радіоактивних ізотопів 107 хімічних елементів.

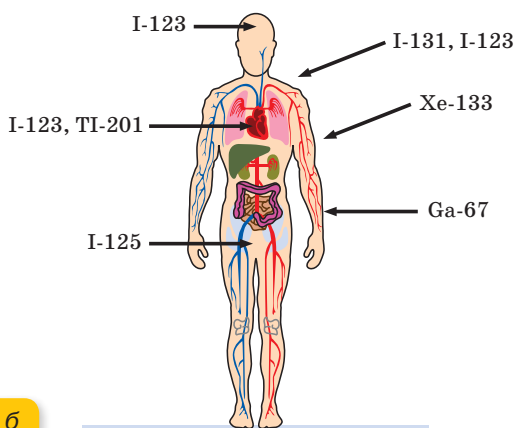
Радіоактивні ізотопи широко застосовують у різних сферах наукової та практичної діяльності.

Найчастіше використовують так званий метод «мічених атомів». Додаючи в досліджуваний елемент радіоактивний ізотоп й уловлюючи надалі його випромінювання, ми можемо простежити шлях цього елемента в організмі, у хімічній реакції тощо.

У медицині метод «мічених атомів» використовують з метою діагностики та лікування деяких захворювань. Ізотопи вводять в організм людини в кількості, що не здатна заподіяти шкоду. Кров розподіляє ці ізотопи по всьому організму. Випромінювання, що виникають при розпаді ізотопу, реєструються спеціальними приладами, що розташовані поблизу тіла людини. У результаті можна отримати зображення потрібного внутрішнього органа (мал. 205, а). За цим зображенням можна зробити висновки про розміри й форму цього органа, про підвищену або знижену концентрацію ізотопу в різних його частинах. Можна також проаналізувати швидкість накопичення та виведення радіоізотопу певним внутрішнім органом і зробити висновки про його функціонування. Так, стан кровообігу в серці, швидкість крові, порожнини серця досліджують за допомогою речовин, що містять ізотопи Натрію, Йоду або Технецію; для дослідження легеневої вентиляції й виявлення захворювань спинного мозку застосовують ізотопи Технецію або Ксенону (мал. 205, б).



а



б

Мал. 205. Використання ізотопів у медицині: а — фіксація випромінювань від «мічених» ізотопів; б — ізотопи, що використовуються для дослідження внутрішніх органів людини



Мал. 206.
Використання
ізотопів у біології
та археології

У фізіології й біохімії тварин і людини використання «міченої» їжі сприяло формуванню нових уявлень про швидкість всмоктування й поширення поживних речовин, а також допомогло проаналізувати вплив внутрішніх (різноманітні хвороби) і зовнішніх (голодування, задуха, перевтома і т. д.) чинників на обмін речовин.

Радіоактивні ізотопи використовують і в сільському господарстві. Опромінення насінин деяких рослин (бавовнику, капусти, редису та ін.) невеликими дозами гамма-променів від радіоактивних ізотопів приводить до помітного збільшення врожайності. Таким способом виведені продуктивні сорти пшениці, квасолі й інших культур, а також отримані високопродуктивні мікроорганізми, що використовуються у виробництві антибіотиків. Гамма-випромінювання радіоактивних ізотопів використовується для боротьби зі шкідливими комахами і для консервації харчових продуктів.

Використовуються «мічені атоми» і в агротехніці. Наприклад, щоб з'ясувати, яке з фосфорних добрив краще засвоюється рослинами, до різних сортів добрива додають однакову кількість радіоактивного фосфору, а потім досліджують рослини на радіоактивність.

Використання ізотопів у біології (мал. 206) привело до перегляду уявлень про те, як відбуваються фотосинтез і процеси засвоєння рослинами неорганічних речовин (карбонатів, нітратів, фосфатів та ін.). З'ясовано шляхи постачання рослин мінеральними речовинами, рідинами й газами, а також роль різних хімічних елементів у житті рослин. Показано, зокрема, що вуглець надходить у рослину не лише через листя, а й через кореневу систему. Установлено шляхи і швидкості переміщення деяких речовин з кореневої системи в стебло і листки, а також із листків через стебло до кореня.

За допомогою ізотопів вивчено переміщення популяцій у біосфері, а також окремих особин усередині популяції, отримано дані про чисельність популяцій, досліджені міграції мікробів і переміщення окремих речовин в організмі.



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. Що таке ізотоп? Наведіть приклади ізотопів.
2. Назвіть властивості ізотопів. Які ізотопи називають стабільними, а які — радіоактивними?
3. Які наукові й практичні проблеми вдалося вирішити, застосувавши ізотопи?

§ 38

Поділ важких ядер. Ланцюгова ядерна реакція поділу

Ядерні реакції. Відкриття Анрі Беккерелем радіоактивності й подальші дослідження цього явища показали, що всередині атома міститься величезна енергія, яка вивільняється під час ядерних реакцій. Постає питання: як використати цю енергію?

На відміну від хімічних реакцій, де змін зазнають лише молекули, а ядра атомів залишаються без змін, під час ядерних реакцій змін зазнають самі атомні ядра. При цьому замість одних хімічних елементів утворюються інші й виділяється або поглинається енергія.

Ви дізнаєтесь

- Як отримують ядерну енергію

Пригадайте

- Властивості радіоактивного розпаду

Ядерна реакція — це процес перетворення атомних ядер у результаті їх взаємодії з елементарними частинками та між собою.

У 1919 р. Ернест Резерфорд здійснив першу ядерну реакцію, бомбардуючи азотну мішень α -частинками, і відкрив протон (p): ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1p$.

У 1932 р. вперше були застосовані штучно отримані прискорені протони для поділу ядер Літію: ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1p \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$.

У цьому самому році Джеймс Чедвік відкрив нейтрон (n): ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0n$, а Фредерік Жоліо-Кюрі здійснив реакцію ${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{30}_{15}\text{P} + {}^1_0n$ і вперше отримав штучний радіоактивний ізотоп фосфору ${}^{30}_{15}\text{P}$, який є джерелом позитронів. Таким чином був відкритий позитрон ${}^+_0e$.

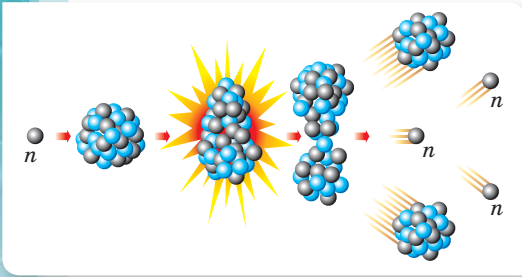
Як видно з наведених прикладів, під час ядерних реакцій виконується закон збереження кількості нуклонів. При цьому також виконуються закони збереження електричного заряду, енергії та ін.

Проте виняткова стабільність ядер нерадіоактивних елементів свідчить про те, що їх зміна може статись лише під час надзвичайно великого зовнішнього енергетичного впливу. Відкриття нейтрона стало поворотним етапом у дослідженні ядерних реакцій. Оскільки нейтрони не мають заряду, то вони без перешкод проникають в атомні ядра й спричиняють їхнє перетворення.

Італійський фізик Енріко Фермі першим почав вивчати ядерні реакції, що відбуваються при взаємодії ядер елементів з нейтронами. Він виявив, що ядерні перетворення зумовлюються не тільки швидкими, а й повільними нейтронами. Причому ці повільні нейтрони здебільшого навіть ефективніші, ніж швидкі. Тому швидкі нейтрони доцільно сповільнюва-

ти до потрібних швидкостей. Сповільнюються нейтрони у процесі руху в речовині, наприклад, у воді або графіті.

Німецькі фізики Отто Ган і Фріц Штрасман у 1938 р. вперше дослідили реакцію поділу ядер урану під час бомбардування їх нейтронами. У результаті цієї реакції ядро атома урану ділилось на два нерівні уламки, вивільнювалося 2–3 нейтрони та енергія, яка була в мільйони разів більшою, ніж у хімічних реакціях. Це відкриття було не лише значним науковим досягненням — воно стало доленосним для всього світу. Саме на реакції поділу урану ґрунтується принцип дії атомної електростанції та атомної бомби.



Мал. 207. Схема поділу ядра Урану

Поділ ядер урану. Розглянемо детальніше механізм поділу ядер урану (мал. 207). Поглинувши нейтрон, ядро збуджується й починає деформуватися. Воно розтягується до тих пір, поки кулонівські сили відштовхування між протонами не почнуть переважати над силами притягання між нуклонами ядра. Після цього з одного ядра утворюються два уламки (ядра інших хімічних елементів), які розлітаються зі

швидкістю $\frac{1}{30}$ швидкості світла. Під час поділу ядра вивільнюються ще 2 або 3 нейтрони. Поява цих нейтронів пояснюється тим, що кількість нейтронів в уламках виявляється більшою, аніж це допустимо.

Уламки, що мають величезну швидкість, розлітаються й гальмуються навколишнім середовищем. Кінетична енергія уламків перетворюється на внутрішню енергію середовища, яке в результаті нагрівається. Таким чином, поділ ядер урану супроводжується виділенням великої кількості енергії. При поділі ядер, що містяться в 1 г урану, виділяється приблизно така сама енергія, як і під час спалювання 3 т кам'яного вугілля.

Ланцюгова ядерна реакція поділу. Нейтрони, що утворилися під час поділу одного ядра урану, можуть викликати поділ інших ядер урану. При цьому кількість нейтронів зростає лавиноподібно й виникає так звана ланцюгова ядерна реакція, яка підтримується без зовнішнього опромінювання урану нейтронами.

Ланцюгова ядерна реакція — це процес, у якому одна проведена реакція викликає подальші реакції такого самого типу.

У реальних умовах не всі нейтрони, які утворюються під час поділу, беруть участь у наступних поділах інших ядер. Частина з них захоплюється ядрами сторонніх атомів, які не діляться, а інші вилітають зі шматка урану назовні.

Відношення кількості актів поділу, спричинених вторинними нейтронами, до кількості поділів, у яких вони утворилися, називають **коефіцієнтом розмноження нейтронів (k)**.

При $k = 1$ кількість поділів підтримується на сталому рівні. Такий режим самопідтримуваної ланцюгової реакції називається стаціонарним і використовується в ядерних реакторах.

При $k < 1$ кожне нове покоління нейтронів спричинює все меншу й меншу кількість поділів, і реакція без зовнішнього джерела нейтронів швидко згасає.

При $k > 1$ кожне нове покоління нейтронів спричинює дедалі більшу кількість поділів. Ланцюгова реакція лавиноподібно наростає й стається вибух.

Практичне здійснення ядерної ланцюгової реакції вимагає подолання значних труднощів. Річ у тім, що природний уран є сумішшю двох ізотопів — урану-235 (0,7 %) й урану-238 (99,3 %). Ці ізотопи під дією нейтронів поведуть себе по-різному. Нейтрони, що звільнилися при поділі ядер урану-235, здатні викликати поділ лише ядер цього самого ізотопу, частка якого в природному урані дуже мала й виявляється недостатньою для початку ланцюгової реакції. Цю трудність долають завдяки збагаченню природного урану ізотопами урану-235 до 5 % та сповільненням нейтронів, що істотно зменшує їх поглинання ядрами урану-238.

Найкращим уповільнювачем нейтронів є «важка вода» (D_2O), молекули якої складаються з дейтерію (ізоотопу водню) та кисню. При взаємодії з нейтронами звичайна вода перетворюється на важку. Хорошим уповільнювачем нейтронів є також графіт. Ядра вуглецю, що входить до складу графіту, не поглинають нейтрони. При пружній взаємодії з ядрами дейтерію («важка вода») або вуглецю (графіт) нейтрони сповільнюються до потрібних швидкостей.



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

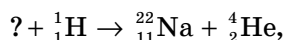
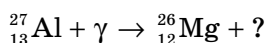
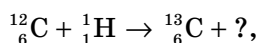
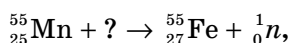
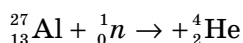
1. Чи можна за допомогою хімічних реакцій перетворити атоми одного хімічного елемента на атоми іншого хімічного елемента? Поясніть свою відповідь.
2. Чому під час поділу ядер урану виділяється енергія?
3. Як відбувається поділ ядра урану-235? Що називають коефіцієнтом розмноження нейтронів?
4. Чим відрізняються процеси поділу урану-235 й урану-238?
5. Чому нейтрони виявилися найбільш зручними частинками для бомбардування атомних ядер?



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 21

1. Напишіть позначення, яких бракує в рівняннях ядерних реакцій:



2. Напишіть рівняння ядерної реакції, яка відбувається під час бомбардування алюмінію ($^{27}_{13}\text{Al}$) α -частинками й супроводжується вивільненням протона.
3. Напишіть рівняння ядерної реакції, яка відбувається під час бомбардування бору ($^{11}_5\text{B}$) α -частинками й супроводжується вивільненням нейтронів.
4. Ядро урану $^{235}_{92}\text{U}$ поглинає один нейтрон і ділиться на два уламки й чотири нейтрони. Один з уламків — ядро $^{137}_{55}\text{Cs}$. Ядром якого ізотопу є другий уламок?
5. Напишіть ланцюжок ядерних перетворень ядра Урану $^{238}_{92}\text{U}$, що захопив нейтрон, у Плутоній $^{239}_{94}\text{Pu}$, з огляду на те, що всі ядра, які знову утворюються, є бета-радіоактивними, тобто зазнають радіоактивного розпаду з випромінюванням β -частинки (електрона).
6. Унаслідок поділу одного ядра $^{235}_{92}\text{U}$ на два уламки виділяється близько 200 МеВ енергії ($1 \text{ МеВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$). Яка кількість енергії вивільняється під час повного поділу всіх атомів, що містяться в 1 г цього ізотопу (приблизно $2,6 \cdot 10^{21}$ атомів)? Яку кількість кам'яного вугілля треба спалити, щоб дістати таку саму кількість енергії?
7. На скільки градусів можна нагріти 1000 т води за рахунок енергії, що виділяється під час радіоактивного розпаду 1 г урану? (Скористайтесь даними з умови попередньої задачі.)

§ 39

Ядерний реактор. Атомні електростанції

Ви дізнаєтесь

- Як працює ядерний реактор

Пригадайте

- Як здійснити самопідтримувану ланцюгову реакцію

Будова ядерного реактора. У попередньому параграфі ми розглянули умови, що необхідні для здійснення ланцюгової реакції поділу ядер урану. Для потреб енергетики постійно використовують енергію керованої ядерної реакції. Як це здійснюється на практиці?

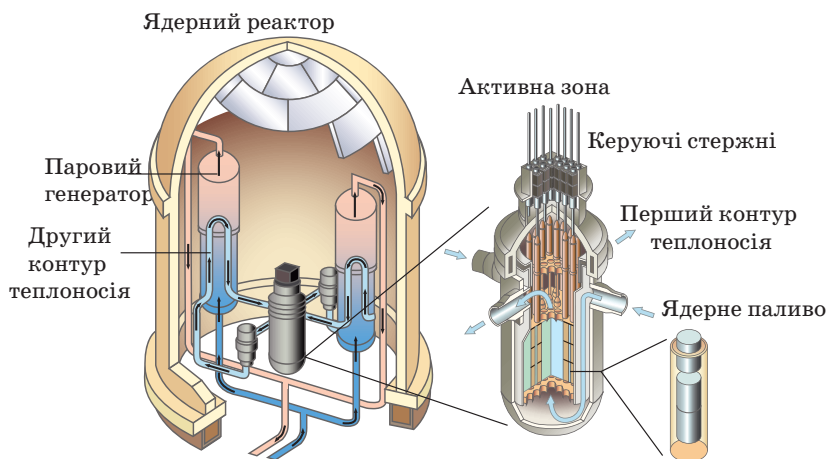
Керована реакція поділу ядер відбувається в пристрої, який називається **ядерним** (або **атомним**) **реактором** (мал. 208). Перший ядерний реактор був побудований у 1942 р. в США під керівництвом

Енріко Фермі. У СРСР перший реактор був побудований у 1946 р. під керівництвом Ігоря Васильовича Курчатова.

Основними частинами ядерного реактора є **активна зона** (містить ядерне паливо, є місцем здійснення ланцюгової реакції ядерного поділу та виділення енергії), **відбивач нейтронів** (повертає нейтрони в активну зону), **система регулювання ланцюгової реакції**, **радіаційний захист** і **контури теплоносіїв**.

Залежно від типу теплоносія розрізняють кілька видів ядерних реакторів. Найпоширенішими є ядерні реактори з киплячою водою та реактори з водою під тиском. У цих реакторах вода використовується і як теплоносієм, і як сповільнювач нейтронів.

Головне призначення ядерного реактора полягає в передачі теплоносію енергії, яка виділяється в активній зоні під час поділу ядер урану.

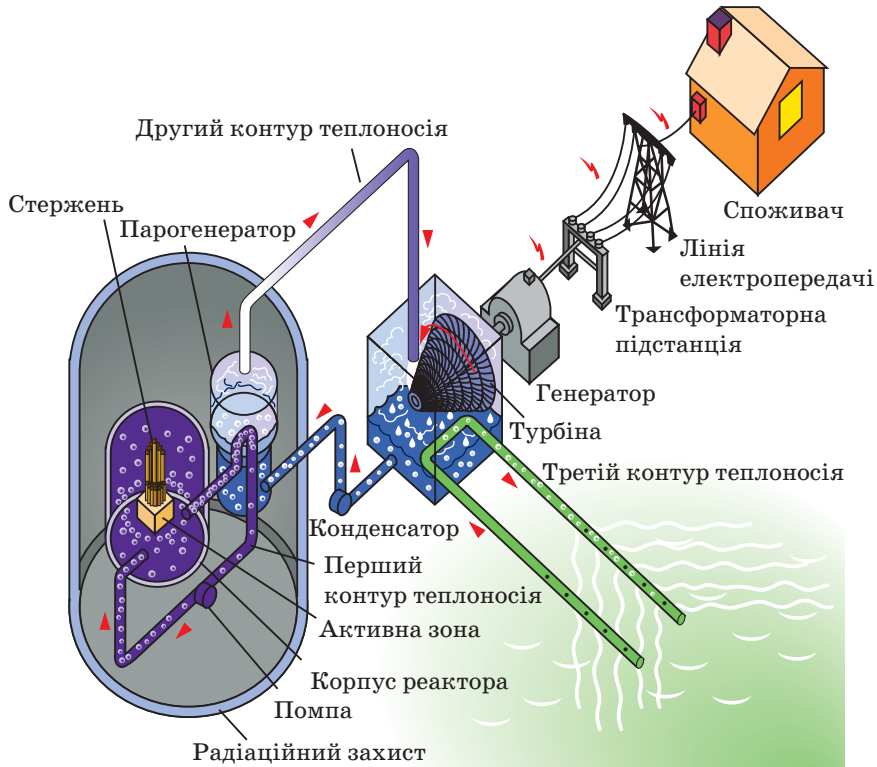


Мал. 208. Схема будови ядерного реактора

Розглянемо принцип дії ядерного реактора з водою під тиском. Ядерна реакція протікає в **активній зоні** реактора. **Ядерне паливо** (суміш ізотопів урану з підвищеним до 3 % вмістом урану-235) завантажують у реактор у спеціальних контейнерах, що вміщені в **паливні стержні**. В активну зону вводяться також **регульовальні стержні**, що дозволяють керувати швидкістю ланцюгової реакції й підтримувати значення коефіцієнта розмноження нейтронів $k = 1$. Для повернення нейтронів в активну зону слугує відбивач нейтронів, що її оточує. Завдяки цьому збільшується кількість нейтронів у зоні поділу ядер урану-235.

Оскільки ядерний реактор є потужним джерелом нейтронів і γ -променів, то в ньому передбачено радіаційний захист.

В активній зоні міститься перший контур теплоносія, у якому циркулює вода під високим тиском. Вода в першому контурі нагрівається за рахунок енергії, що виділяється під час реакції поділу ядер урану в паливних стержнях (її температура сягає 300 °С), і проходить по трубах через **паровий генератор**. Вода другого контура теплоносія циркулює через паровий генератор і конденсатор. У паровому генераторі вона перетворюється у водяну пару високого тиску. Далі, як і в теплових електростанціях, водяна пара спрямовується на лопаті турбіни, що з'єднана з електрогенератором (мал. 209, с. 176).



Мал. 209. Схема будови атомної електростанції

Атомні електростанції. Розглянутий ядерний реактор є частиною *атомної електростанції* (АЕС) — комплексу технічних споруд, що призначені для вироблення електричної енергії. В атомній електростанції ядерний реактор відіграє функцію постачальника тепла для нагрівання води й перетворення її на водяну пару. Пара під високим тиском спрямовується в турбіну, сполучену з електрогенератором. Щоб уникнути витoku радіації, контури першого і другого теплоносія замкнуті.

Для охолодження й конденсації пари в конденсаторі застосовується третій контур теплоносія. Зазвичай це вода із природних водойм.

Турбіна атомної електростанції є тепловою машиною, що визначає загальну ефективність станції. У сучасних атомних електростанціях коефіцієнт корисної дії становить близько 30 %. Отже, для виробництва 1000 МВт електричної потужності теплова потужність реактора має сягати 3000 МВт. При цьому 2000 МВт забирає вода третього контура, що охолоджує конденсатор. Це призводить до локального перегрівання природних водойм і виникнення екологічних проблем. Проте головна проблема експлуатації ядерних реакторів — це забезпечення повної радіаційної безпеки людей, які працюють на атомних електростанціях, і запобігання випадкових викидів радіоактивних речовин, що у великій кількості накопичуються в активній зоні реактора.

Ядерно-енергетичні установки. Ядерні реактори використовують не лише на атомних електростанціях. На морському й космічному транспорті також використовують ядерно-енергетичні установки (мал. 210).

Енергія, що виробляється ядерно-енергетичною установкою, йде на живлення системи управління рухом, автоматики, двигунів, систем радіозв'язку, телеметричної системи, системи, що підтримує постійну температуру в житлових і приладових відсіках, систем життєдіяльності тощо.

Спочатку найбільшого поширення набули ядерно-енергетичні установки з водо-водяними реакторами під тиском, а згодом охолодження активної зони почали здійснювати за допомогою рідкого натрію або рідкого свинцю. Такі реактори мають найменші габарити, а висока температура рідкометалевого теплоносія (близько $600\text{ }^{\circ}\text{C}$) забезпечує коефіцієнт корисної дії ядерно-енергетичної установки до 40% .

В Україні діяли й діють потужні наукові школи, що займаються дослідженнями в галузі ядерної енергетики. Так, за участі українських учених і конструкторів були розроблені ядерні реактори для атомних підводних човнів, космічні ядерно-енергетичні установки для розміщення на супутниках та ін.

Некерована ядерна реакція. Окрім «мирного» використання ядерної енергії для потреб людства, існує й «військове» використання енергії атомного ядра — некерована ланцюгова ядерна реакція в атомній бомбі.

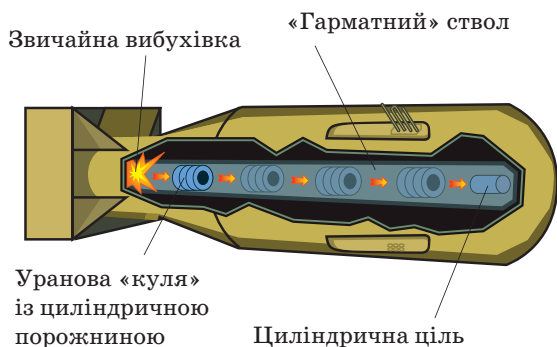
Основними елементами атомної бомби є: заряд, оболонка й так званий вибуховий пристрій. Заряд складається з речовини, атомне ядро якої здатне до розщеплення (уран-235, уран-233 і плутоній-239).

Самопідтримувана ланцюгова реакція поділу атомних ядер стає можливою, коли маса речовини перевищує деяку критичну межу. Для урану-235 критична маса становить близько 40 кг , для плутонію-239 — $10\text{--}13\text{ кг}$. Критична маса залежить від ізотопного складу, густини активної речовини та навіть її форми. Щоб запобігти передчасному вибухові, у перших атомних бомбах загальна маса заряду вкладалася в корпус окремими частинами. Кожна із частин мала масу, меншу від критичної. У потрібний момент за допомогою детонатора і звичайної вибухівки частини заряду поєднувалися й відбувався вибух. Схему бомби, що реалізує такий найпростіший «гарматний» механізм, наведено на малюнку 211, с. 178.

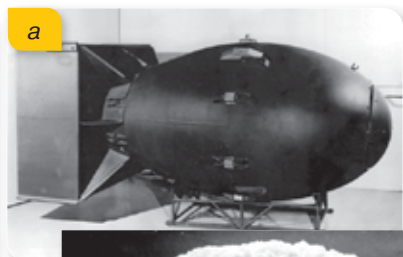
Уперше атомну бомбу було розроблено в 40-х роках ХХ ст. в США. Перше випробування здійснено 16 липня 1945 р. на полігоні неподалік Аламогордо (штат Нью-Мексико).



Мал. 210. Використання ядерно-енергетичних установок на морському й космічному транспорті



Мал. 211. Будова атомної бомби



Мал. 212. Перша атомна бомба:
а – бомба «Товстун», що була скинута на Наґасакі;
б – вибух атомної бомби в Наґасакі в 1945 р.

Наприкінці Другої світової війни на японські міста Хіросіма та Наґасакі вперше були скинуті дві атомні бомби, які призвели до значних людських жертв і руйнувань (мал. 212).

Основним з факторів ураження атомної бомби є надзвичайно потужна **вибухова хвиля**, що призводить до суцільних руйнувань в радіусі 1 км від епіцентру вибуху. Окрім вибухової хвилі, уражаючими факторами є також **світлове випромінювання** й **радіація** (у тому числі **радіоактивні продукти розпаду**, що залишаються небезпечними протягом тривалого часу).

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Чим відрізняються керовані й некеровані ядерні реакції?
2. Як виробляють електроенергію на атомній електростанції?
3. У чому принципова відмінність між атомними й тепловими електростанціями? Які переваги й недоліки атомних електростанцій?
4. Під час вибуху атомної бомби (серпень, 1945 р.) утворилося багато різних радіоактивних елементів. Які з них становили небезпеку тільки в перші години після вибуху, а які можуть загрожувати життю людей і в наш час?
- 5*. Яка електрична потужність атомної електростанції, що витрачає за добу 220 г ізотопу уран-235 і має ККД 25 %? Під час поділу одного ядра урану-235 виділяється 200 MeV енергії ($1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$). В 1 г цього ізотопу міститься $2,6 \cdot 10^{21}$ атомів.

§40

Атомна енергетика України. Екологічні проблеми атомної енергетики

Атомні електростанції України. Атомна енергетика України є не лише однією з галузей української енергетики, а й базовою складовою енергозабезпечення країни. На атомних електростанціях виробляють понад 50 % вітчизняної електроенергії.

Відповідно до аналітичного огляду «Ядерна енергетика у світі та Україні: поточний стан та перспективи розвитку» станом на 2015 рік в Україні експлуатують 15 енергоблоків загальною потужністю 13,835 ГВт на чотирьох АЕС (6 — на Запорізькій, 4 — на Рівненській, 3 — на Південно-Українській, 2 — на Хмельницькій). За кількістю енергетичних реакторів Україна займає десяте місце у світі й п'яте в Європі. Дванадцять енергоблоків Україна успадкувала від СРСР, ще три запущено в часи незалежності: у 1995-му і 2004-му рр.

Усі реактори, що експлуатуються на АЕС України, належать до типу водо-водяних енергетичних реакторів (ВВЕР). У цих реакторах теплоносієм і сповільнювачем є вода під тиском. На малюнку 213, с. 180 зображено будову найбільш поширеного на атомних електростанціях енергетичного блока ВВЕР-1000 та його монтаж на Рівненській АЕС.

Після 2030 р. на стадію комерційної реалізації в Україні можуть вийти реактори IV покоління, у яких будуть використані швидкі нейтрони та паливо із суміші урану й плутонію.

За розвіданими запасами урану Україна посідає перше місце в Європі й десяте у світі, однак видобуток уранової сировини становить лише 40 % від потреб атомної енергетики (800 — 960 т на рік). Українські поклади урану сконцентровані в Дніпропетровській і Кіровоградській областях.

Важливою проблемою атомної енергетики України залишається захоплення радіоактивних відходів (так званого відпрацьованого ядерного палива), які накопичуються впродовж роботи ядерного реактора й мають значний період піврозпаду, а отже, продовжуватимуть випромінювати радіацію ще тисячі років.

Перспективи розвитку атомної енергетики. Сьогодні АЕС є в більш ніж 30 країнах світу, ще 30 країн планують у найближчому майбутньому побудувати нові атомні електростанції. Найбільшу кількість АЕС планується побудувати в країнах Азії, зокрема Китаї та Індії.

Прихильники атомної енергетики аргументують її переваги таким чином:

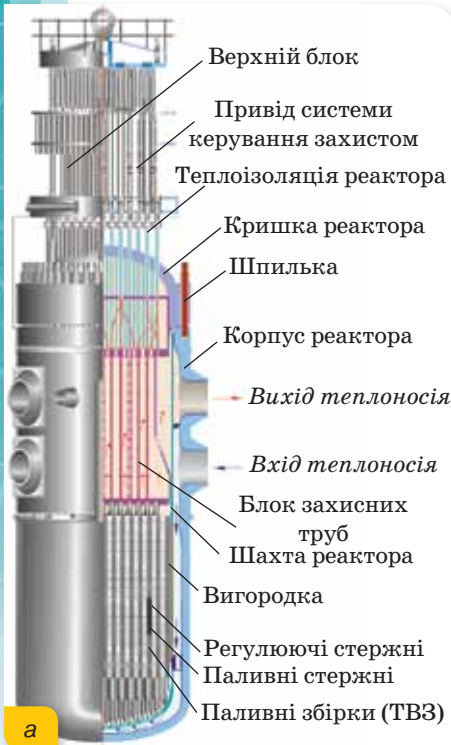
- в атомній енергетиці фактично не відбувається викидів парникових газів. Повний ядерно-енергетичний цикл (від видобутку урану до похован-

Ви дізнаєтесь

- Про стан атомної енергетики в Україні та світі

Пригадайте

- Як працює атомна електростанція



Мал. 213. Реактор ВВЕР-1000: а — схема будови; б — монтаж реактора на Рівненській АЕС

ня відходів, включаючи спорудження реакторів) характеризується викидом лише 2 — 6 г вуглецю на 1 кВт електроенергії. Приблизно така сама кількість вуглецю виділяється при використанні енергії вітру й сонця, що приблизно в 100 разів менше, ніж при використанні вугілля, нафти або природного газу. Якщо закрити АЕС в усьому світі й замінити їх тепловими електростанціями, то викиди вуглецю збільшаться на 600 млн т за рік, а загальний обсяг викидів у атмосферу Землі приблизно вдвічі перевищить допустиме значення;

- атомна енергетика на сьогодні краще забезпечена паливними ресурсами порівняно з традиційною енергетикою. При використанні сучасних технологій ядерного циклу світових запасів урану вистачить до кінця сторіччя, а в разі переходу на нові види палива ресурсна база АЕС стане практично необмеженою;
- вартість електроенергії, що виробляється на АЕС, має низький рівень залежності від ціни на паливну сировину.

До проблемних питань сьогодишньої атомної енергетики належать питання безпеки, а передусім — утилізація радіоактивних відходів.

Екологічні проблеми атомної енергетики. Екологічні проблеми атомної енергетики нагадали про себе в останні десятиліття, і їх вирішення — одне з першочергових завдань сучасного суспільства.

До певного часу головною екологічною проблемою атомної енергетики залишалась утилізація радіоактивних відходів. Вплив на природу відходів ядерного палива на сьогодні доведений тисячами наукових праць і показниками існуючих захоронень відпрацьованого палива. У близькому майбутньому ще однією екологічною проблемою атомної енергетики може стати теплове забруднення природних водойм, що використовуються для охолодження агрегатів АЕС.

Ще однією екологічною проблемою є відведення величезних територій з якісними ґрунтами під будівництво нових атомних електростанцій.

Донедавна екологічні проблеми атомної енергетики відсувалися на другий план у порівнянні з її перевагами.

Усе змінила аварія на Чорнобильській АЕС в Україні в 1986 р. (мал. 214, а), що кваліфікується за міжнародною шкалою ядерних інцидентів як аварія найвищого сьомого рівня. Ця трагедія підірвала довіру світової спільноти до атомної енергетики. До цієї події про екологічні проблеми атомної енергетики говорилося дуже мало. Але після того, як увесь світ побачив руйнівну потужність ядерної енергії, головні екологічні проблеми атомної енергетики стали пов'язувати з можливим повторенням подібних катастроф. Ці побоювання виправдалися у 2011 р., коли в результаті землетрусу сталася аварія на японській АЕС «Фукусіма-1» (мал. 214, б), яка також була оцінена по сьомому (максимальному) рівню небезпеки. Повна ліквідація наслідків подібних аварій займатиме приблизно 30–40 років.

Природно, що після цих двох масштабних аварій екологічні проблеми атомної енергетики знову перемістилися на перші місця в рейтингу питань розвитку світового енергетичного комплексу. Вирішення екологічних проблем атомної енергетики є життєвою необхідністю, і недостатньо відповідальне ставлення до цих питань може стати фатальною помилкою для людської цивілізації. Але поряд із цим не варто недооцінювати переваги атомної енергетики, адже для багатьох країн це єдина можливість отримувати недорогу енергію й завдяки цьому не залежати від інших держав.



а



б

Мал. 214. Аварії на АЕС: а — на четвертому енергоблоці Чорнобильської АЕС; б — на японській АЕС «Фукусіма-1»



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. Назвіть основні переваги й недоліки атомної енергетики в порівнянні з іншими галузями енергетики України.
2. Які перспективи розвитку атомної енергетики?
3. Що розуміють під екологічними проблемами атомної енергетики?
4. Яка частка атомної енергетики в загальному обсязі світового виробництва електроенергії?

§ 41

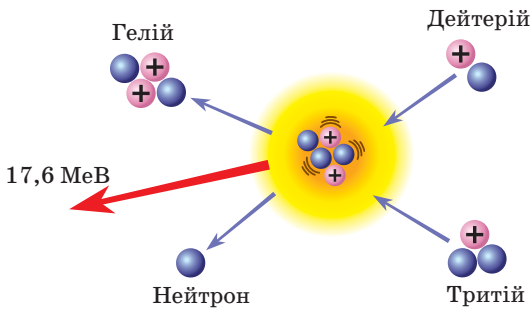
Термоядерні реакції. Енергія Сонця й зір

Ви дізнаєтесь

- У чому особливості термоядерної реакції

Пригадайте

- Що таке ядерна реакція



Мал. 215. Схема ядерного синтезу

Механізм термоядерної реакції. У попередніх параграфах ми розглядали ядерні реакції розпаду радіоактивних речовин, що зумовлені перетворенням атомних ядер у результаті їх взаємодії з елементарними частинками й між собою. І з'ясували, що під час поділу важких ядер виділяється велика кількість енергії. Так під час поділу одного ядра урану-235 виділяється 200 MeV енергії. Проте виявилось, що при злитті (синтезі) легких ядер виділяється ще більше енергії. Наприклад, якщо здійснити злиття ізотопів водню (дейтерію і тритію), то в результаті цього утворюється гелій і випромінюється нейтрон ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$. У цій реакції беруть участь всього 5 нуклонів, а виділяється 17,6 MeV енергії (мал. 215).

Якщо врахувати, що в реакції синтезу в розрахунку на один нуклон виділяється приблизно 3,5 MeV енергії, а при радіоактивному розпаді ядра урану — «всього» 1 MeV на нуклон, то зрозуміло, що реакції синтезу набагато вигідніші з точки зору одержання енергії.

Такі реакції називаються термоядерними. Сама назва цих реакцій вказує на їхню особливість — вони відбуваються за дуже високих температур. З'ясуємо чому.

Щоб почалося злиття ядер, їх потрібно наблизити одне до одного на відстань дії ядерних сил. Для такого зближення потрібно подолати кулонівське відштовхування ядер, яке різко зростає зі зменшенням відстані між ядрами. Для цього потрібно, щоб ядра атомів мали дуже велику кінетичну енергію, тобто щоб їхня швидкість була досить великою. Це можливо лише за дуже високих температур (десятки й сотні мільйонів градусів). Тому реакція ядерного синтезу й називається термоядерною реакцією.

Термоядерними реакціями називаються ядерні реакції синтезу легких ядер у важчі, що супроводжуються виділенням енергії (мал. 216).

З фізичної точки зору зрозуміло, що енергія, яка вивільняється у процесі радіоактивного розпаду ядер, — це, в основному, кінетична енергія уламків, що набули її внаслідок дії електричних сил відштовхування.

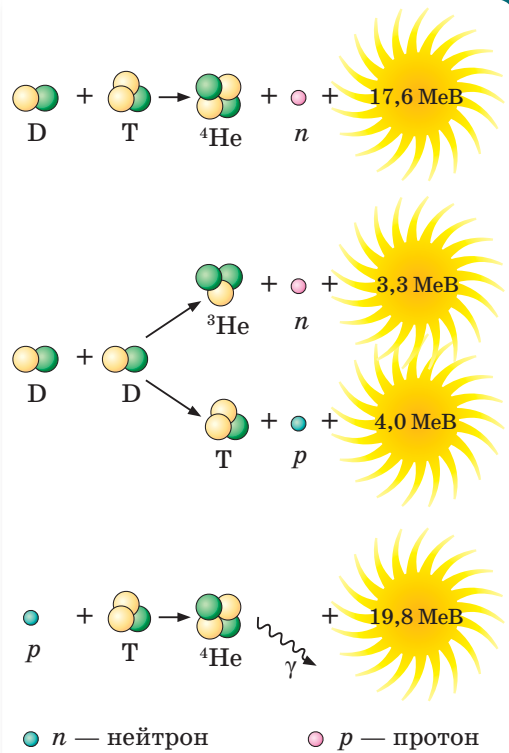
При термоядерному синтезі енергія вивільняється в результаті прискореного руху нуклонів назустріч один одному під дією набагато потужніших ядерних сил. Простіше кажучи, при поділі ядер вивільняється енергія електричної взаємодії, а при синтезі ядер — енергія сильної (ядерної) взаємодії.

Термоядерні реакції відбуваються за надвисоких температур (10^7 – 10^9 °C). За таких температур речовина є повністю йонізованою та перебуває в стані плазми.

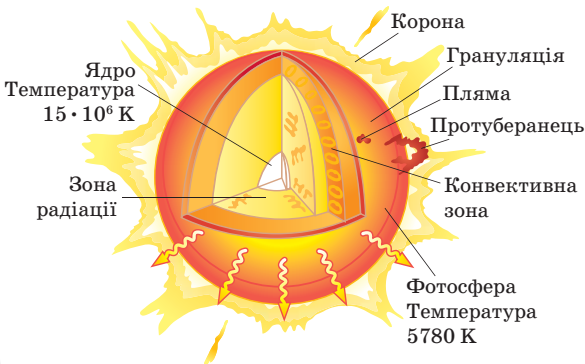
Здійснення реакцій керованого термоядерного синтезу в земних умовах відкриє перед людством перспективу отримання екологічно чистої і практично невичерпної енергії.

На даному етапі розвитку науки та техніки вдалося здійснити тільки некеровану реакцію термоядерного синтезу у водневій бомбі, де висока температура досягалася за рахунок вибуху уранової або плутонієвої атомної бомби.

Енергія Сонця й зір. Термоядерні реакції відіграють надзвичайно важливу роль в еволюції Всесвіту. Сонце й деякі інші зорі випромінюють у космічний простір величезну енергію, що вивільняється в процесі термоядерного синтезу чотирьох легких ядер водню в одне ядро гелію (мал. 217). При перетворенні одного кілограма водню на гелій виділяється така кількість теплоти, якої достатньо для того, щоб закип'ятити півтора мільйона кубометрів води.



Мал. 216. Термоядерні реакції



Мал. 217. Термоядерні реакції на Сонці

Температура в центрі Сонця становить близько 13 мільйонів градусів. За такої температури атоми повністю йонізовані, тобто навколо їхніх ядер уже немає електронних оболонок. Фактично Сонце заповнене електронно-йонним газом. Висока температура спричинює колосальний тиск цих газів, тому ядра можуть наблизитися значно ближче одне до одного, ніж у земних умовах за звичайних температур.

Цікаво, що термоядерна реакція на Сонці протікає дуже повільно. Для того щоб чотири ядра водню перетворилися на ядро гелію, має пройти декілька мільйонів років. За такого повільного процесу Сонце може виділяти величезну кількість теплоти тільки завдяки тому, що в цьому процесі одночасно бере участь велетенська маса речовини. Разом з випромінюванням енергії кожної секунди Сонце втрачає чотири з половиною мільйони тонн своєї маси. Але для Сонця ця втрата абсолютно мізерна. Маса Сонця настільки велика, що за два мільярди років безперервного випромінювання Сонце втратило не більш ніж одну десяту відсотка своєї маси.

Учені підраховали, що запасів водню на Сонці вистачить на 100 мільярдів років.



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. У чому різниця між реакціями ядерного поділу та синтезу?
2. Чому для термоядерної реакції необхідна висока температура?
3. Ядра яких елементів вступають у реакцію термоядерного синтезу на Сонці?
4. Чому маса Сонця зменшується?
5. На скільки років за підрахунками вчених має вистачити запасу водню на Сонці?

§42

Радіаційний фон. Дозиметрія

Ви дізнаєтесь

- Які існують джерела радіації
- Як вимірюють радіацію

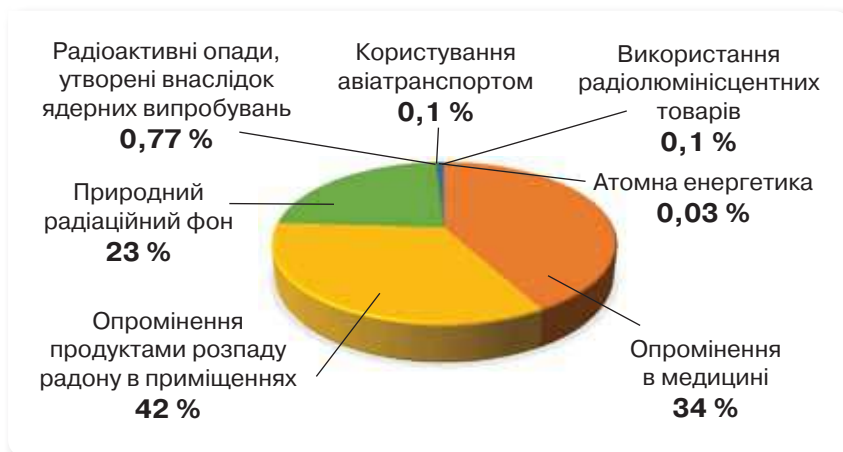
Пригадайте

- Особливості йонізаційної дії радіоактивних випромінювань

Природні й штучні джерела радіації. Як ми з'ясували, радіація дійсно небезпечна: у великих дозах вона призводить до ураження живих клітин і тканин, а в малих — спричинює ракові захворювання і сприяє генним модифікаціям організмів. Про шкідливий вплив радіації було відомо давно, але особливого загострення ця проблема набула з розвитком атомної енергетики, аваріями на атомних електростанціях, випробуваннями ядерної зброї. Проте найбільшу небезпеку для людини становить не атомна енергетика, а продукти розпаду радону,

що накопичуються в приміщеннях, використання радіації в медицині та природна радіація (мал. 218). Негативні наслідки розвитку атомної енергетики — це найменша частка в загальному радіаційному фоні. Істотно

частину опромінення живі організми отримують від природних джерел радіації (космічні промені й радіоактивні речовини, що містяться в земній корі), від застосування рентгенівських променів у медицині, під час польоту в літаку, від продуктів згорання кам'яного вугілля тощо.



Мал. 218. Діаграма розподілу джерел радіації

Природна радіоактивність існує мільярди років і супроводжує людину скрізь. Радіоактивні матеріали увійшли до складу Землі від її народження. Будь-яка людина також радіоактивна: у тканинах людського тіла містяться радіоактивні ізотопи *калій-40* і *рубідій-87*, причому позбутися їх неможливо. Урахуємо, що сучасна людина до 80 % часу проводить у приміщеннях — удома або на роботі, де й отримує основну дозу радіації від будівельних матеріалів, які містять природні радіоактивні ізотопи.

Найнебезпечнішими для людини, з точки зору радіоактивного опромінення, є *радон і продукти його розпаду*. Основним джерелом цього радіоактивного інертного газу є земна кора. Проникаючи через тріщини у фундаменти, підлозі й стінах, радон затримується в приміщеннях. Ще одним джерелом радону є будівельні матеріали (бетон, цегла та ін.), що містять природні радіонукліди, які є джерелами радону. Радон може надходити в будинки й з водою (особливо якщо вона подається з артезіанських свердловин), при спалюванні природного газу тощо. Радон у 7,5 раза важчий за повітря. Як наслідок, концентрація радону у верхніх поверххах багатоповерхових будинків зазвичай нижча, ніж на першому поверсі. Основну частину дози опромінення від радону людина отримує, перебуваючи в закритому, не провітрюваному приміщенні. Отже, регулярне провітрювання може знизити концентрацію радону в приміщенні в декілька разів. За підвищеної концентрації радону і продуктів його розпаду для людини багаторазово зростає ризик захворювання на рак легенів.

Техногенна радіоактивність виникає внаслідок господарської діяльності людини, у процесі якої відбувається перерозподіл і концентрація

природних радіонуклідів, що призводить до помітних змін природного радіаційного фону. До таких видів господарської діяльності людини належать: добування і спалювання кам'яного вугілля, нафти й газу; використання фосфатних добрив; видобуток і переробка руд. Під час використання такого виду транспорту, як цивільна авіація, організм людини зазнає підвищеної дії космічного випромінювання. Впливають на дозу радіоактивного опромінення й випробування ядерної зброї, підприємства атомної енергетики та промисловості.

Дозиметрія. У результаті взаємодії випромінювання з біологічним середовищем живому організму передається певна кількість енергії. Отже, для того щоб визначити *поглинену дозу радіаційного опромінення*, треба виміряти енергію, яку поглинув відповідний об'єкт.

Дозу опромінення можна отримати від будь-якого радіонукліда або від їх сукупності. Вплив радіонуклідів на організм не залежить від того, де вони перебувають: поза організмом або всередині нього. В організм людини радіонукліди можуть потрапити разом з їжею, водою або повітрям. Доза опромінення розраховується залежно від того, який розмір опроміненої ділянки тіла й де вона розташована, одна людина чи група людей піддалася опромінюванню й протягом якого часу це відбувалося. Тому для вимірювання й порівняння радіаційного впливу використовують багато фізичних величин й існує відповідна галузь наукових досліджень, яку називають *дозиметрія*.

Поглинена доза опромінення — це відношення поглиненої енергії йонізуючого випромінювання до маси речовини, яка опромінюється: $D = \frac{E}{m}$.

Одиницею поглиненої дози у СІ є 1 Грей = $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

1 Гр дорівнює поглиненій дозі випромінювання, за якої опроміненій речовині масою 1 кг передається енергія йонізуючого випромінювання 1 Дж.

Використовують також і позасистемну одиницю 1 рад (rad — за першими літерами англійського словосполучення radiation absorbed dose — поглинена доза випромінювання).

1 рад — це доза, за якої опроміненій речовині масою 1 кг передається енергія 10^{-2} Дж.

Доза опромінення є величиною, що використовується для оцінки дії йонізуючого випромінювання на будь-які речовини, тканини й живі організми. Вона накопичується в речовині, а ураження від опромінення залежить від величини дози та від часу її накопичення.

Розрізняють також *експозиційну й еквівалентну дози*.

Експозиційна доза опромінення характеризує йонізаційний вплив рентгенівського й гамма-випромінювань на повітря.


У системі СІ експозиційна доза вимірюється в кулонах на кілограм ($\frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$) — це випромінювання, за якого в кожному кілограмі повітря утворюються йони із загальним зарядом, що дорівнює 1 кулону. Експозиційну дозу опромінення вимірюють несистемною одиницею — рентгеном (Р). Один рентген — це доза рентгеновського або гамма-випромінювання, яка в 1 см^3 сухого повітря за температури $0 \text{ }^\circ\text{C}$ і тиску 760 мм рт. ст. створює 2 млрд пар йонів (а точніше $2 \cdot 2,08 \cdot 10^9$ йонів). На практиці застосовують менші одиниці: міллірентген ($1 \text{ мР} = 10^{-3} \text{ Р}$) і мікрорентген ($1 \text{ мкР} = 10^{-6} \text{ Р}$).

Співвідношення системної й позасистемної одиниць:

$$1 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}} = 3876 \text{ Р}; \quad 1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}.$$

Експозиційна доза опромінення визначає кількість енергії (дозу), яку одержує об'єкт, але не враховує час, за який вона поглинена. Вивчення окремих наслідків опромінення живих тканин показало, що при однакових поглинених дозах різні види радіації чинять неоднакову біологічну дію на організм. За однакової поглиненої дози негативний радіобіологічний ефект буде більшим, за умови щільнішого потоку йонізаційного випромінювання. Для врахування цього ефекту введено поняття *еквівалентної дози*.

α β γ **Поглинена доза** — енергія йонізувального випромінювання, поглинена опроміненим організмом на одиницю його маси.

 **Еквівалентна доза** — поглинена доза, помножена на коефіцієнт якості опромінення, що відображає здатність пошкодити тканини організму.



Ефективна еквівалентна доза (ЕЕД) — еквівалентна доза, помножена на коефіцієнт, що враховує чутливість різних тканин до йонізувального опромінення.



Колективна ЕЕД — ефективна еквівалентна доза, що отримана групою людей від будь-якого джерела радіації.



Повна колективна доза — колективна ефективна доза, яку отримують покоління людей від будь-якого джерела за час його існування.

Еквівалентна доза опромінення — це міра біологічного впливу йонізувального випромінювання на живий організм.

Одиницею вимірювання еквівалентної дози в СІ є Зіверт (Зв).

1 зіверт — це кількість енергії, поглиненої кілограмом біологічної речовини, що еквівалентна поглиненій дозі в 1 Грей. Одиниця названа на честь шведського вченого Рольфа Зіверта.

При опроміненні живих організмів, зокрема людини, виникають біологічні ефекти, які за однієї й тієї самої поглиненої дози різні для різних видів йонізувального випромінювання. Прийнято порівнювати біологічні

ефекти, які зумовлюються будь-яким йонізуючим випромінюванням, з ефектом від рентгенівського й гамма-випромінювань. У процесі короткочасного опромінення людини доза в 20–50 Р призводить до змін у крові, доза в 100–250 Р спричинює променеви хворобу, а доза в 600 Р — смертельна. Природний фон радіації дорівнює річній дозі в 0,2 Р, максимальна допустима доза — 5 Р протягом року.

Для обліку біологічної ефективності йонізуючого випромінювання використовується позасистемна одиниця поглиненої дози — біологічний еквівалент рентгена (бер).

1 бер — це доза будь-якого виду йонізуючого випромінювання, яка створює в організмі такий самий біологічний ефект, як рентгенівське або гамма-випромінювання, експозиційна доза якого 1 Р. Доза опромінення виражається в берах тоді, коли необхідно оцінити загальний біологічний ефект незалежно від типу йонізуючого випромінювання.

Співвідношення системної й позасистемної одиниць:

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер}, \quad 1 \text{ бер} = 0,01 \text{ Зв}.$$

При повторному опроміненні людей необхідно враховувати залишкову дозу опромінення. Тобто частину дози опромінення, що отримана раніше, але не компенсована організмом до поточного моменту часу. Організм людини здатний компенсувати (відновлювати нормальний стан тканин організму) до 90 % наслідків радіаційного ураження. Відновлення починається через 4 доби після початку першого опромінення. Значення залишкової дози опромінення залежить від часу, що пройшов після опромінення.

Ефективна доза опромінення — величина, що використовується для визначення міри ризику наслідків опромінення тіла людини й окремих його органів і тканин з урахуванням їхньої радіочутливості. Вона являє собою суму значень еквівалентних доз опромінення окремих органів і тканин, помножених на відповідні вагові коефіцієнти.

Для оцінки дії опромінення за одиницю часу застосовують поняття *потужність дози*.

Потужність дози опромінення (інтенсивність опромінення) — це приріст відповідної дози під впливом цього випромінювання за одиницю часу.

Потужність дози опромінення має розмірність відповідної дози (поглиненої, експозиційної та ін.), що ділиться на одиницю часу. Допускається використання різних спеціальних одиниць (наприклад, $\frac{\text{Зв}}{\text{год}}$, $\frac{\text{бер}}{\text{хв}}$, $\frac{\text{мЗв}}{\text{рік}}$ та ін.).

Потужність експозиційної дози (рівень радіації) — це інтенсивність йонізуючого випромінювання, що поглинається за одиницю часу й характеризує швидкість накопичення дози.

Одиницею потужності поглиненої дози йонізуючого випромінювання є $\frac{\text{Гр}}{\text{с}}$, експозиційної дози — $\frac{\text{Р}}{\text{с}}$, еквівалентної дози — $\frac{\text{Зв}}{\text{с}}$.

Дозиметри. Для дослідження радіаційного стану місцевості застосовують спеціальні прилади — дозиметри (мал. 219), які призначені для вимірювання потужності дози йонізуючого випромінювання довкілля, що реєструється за певний проміжок часу. Дозиметри використовують для оцінки радіаційного забруднення місцевості, будівель і споруд, житлових і виробничих приміщень, транспортних засобів, будматеріалів, металобрухту, предметів побуту та ін.

Побутовий дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА-П» вимірює дозу й потужність дози γ -випромінювання. Якщо потужність дози перевищує порогове значення, дозиметр сигналізує за допомогою світлодіода. Дозиметр-радіометр застосовують під час контролю радіаційних параметрів житлових будівель, приміщень, транспортних засобів, будматеріалів, підсобного господарства, а також для оцінки радіаційного забруднення ягід і грибів.

Радіометр РКС-01 «СТОРА» має більшу точність вимірювання γ -випромінювання, а також вимірює β -випромінювання. Радіометр РКС-01 «СТОРА» використовують для екологічних досліджень довкілля, для здійснення радіометричного контролю на підприємствах, для контролю радіаційного стану жител, будівель і споруд, прилеглих до них територій, предметів побуту, одягу, транспорту, поверхні ґрунту на приватних подвір'ях.

Лічильник Гейгера слугує для підрахунку кількості радіоактивних частинок (в основному β -частинок (електронів)). Це скляна трубка, заповнена газом (аргоном), з двома електродами всередині (катод й анод). β -частинка, що пролітає через трубку, спричинює ударну йонізацію газу, яка супроводжується виникненням електричного струму.



а



б

Мал. 219. Дозиметри:
а — побутовий дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА-П»;
б — радіометр РКС-01 «СТОРА»

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Дайте визначення радіаційного фону.
2. Укажіть об'єкти дослідження дозиметрії.
3. Від яких характеристик залежить величина поглиненої дози випромінювання?
4. Що характеризує еквівалентна доза?



Перевірте себе



Рівень А (початковий)

- Як розподіляється позитивний заряд в атомі згідно з моделлю атома Томсона?
 - А по всьому об'єму атома
 - Б у центрі атома
 - В позитивний заряд відсутній
 - Г обертається по колових орбіталях
- Укажіть назви частинок, що входять до складу атома.
 - А електрони та протони
 - Б протони та нейтрони
 - В тільки протони
 - Г електрони, протони та нейтрони
- Укажіть кількість нейтронів у ядрі атома Літію.
 - А 3
 - Б 7
 - В 4
 - Г 10
- Укажіть значення ефективного коефіцієнта розмноження нейтронів, за якого можлива керована ланцюгова реакція.
 - А $k > 1$
 - Б $k < 1$
 - В $k < 0$
 - Г $k = 1$
- Як змінюється порядковий номер елемента в результаті α -розпаду ядра?
 - А збільшується на 2
 - Б зменшується на 4
 - В зменшується на 2
 - Г не змінюється
- Період піврозпаду радіоактивної речовини — це час, за який розпадається...
 - А половина початкової кількості атомів речовини
 - Б третина початкової кількості атомів речовини
 - В усі радіоактивні атоми речовини
 - Г половина маси речовини

Рівень В (середній)

- Що виділяється в результаті ядерної реакції?

$${}^1_1\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_1\text{O} + ?$$
 - А ${}^1_1\text{H}$
 - Б ${}^2_1\text{H}$
 - В ${}^4_2\text{He}$
 - Г ${}^1_0\text{n}$

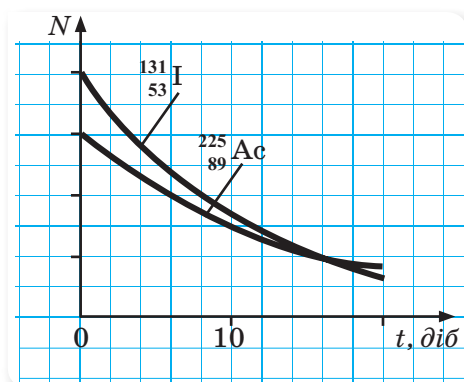
2. Укажіть вид ядерної реакції, що протікає в атомній бомбі.
 А керована ланцюгова реакція
 Б штучне перетворення легких ядер
 В некерована ланцюгова реакція
 Г термоядерна реакція
3. Період піврозпаду атомів свинцю $^{209}_{82}\text{Pb}$ становить 3,3 год. Укажіть справедливе твердження.
 А за 3,3 год масове число кожного ядра свинцю зменшиться удвічі
 Б за 3,3 год розпадеться половина наявних ядер
 В за 6,6 год розпадутся всі наявні ядра
 Г кожні 3,3 год розпадається в середньому одне ядро

Рівень С (достатній)

- Чому в досліді Резерфорда ядра атомів золота відкидали назад α -частинки, що налітали на них?
- Стала розпаду радіоактивного Плутонію-239 дорівнює $9,0 \cdot 10^{-13} \text{ с}^{-1}$. Скільки розпадів відбудеться за 1 с в радіоактивному препараті Плутонію-239, якщо в ньому міститься $1,5 \cdot 10^{23}$ атомів?

Рівень D (високий)

- Ядро $^{216}_{84}\text{Po}$ утворилося після двох послідовних α -розпадів. З якого ядра воно утворилось?
- Використовуючи графіки залежностей кількості ядер, що не розпалися у процесі радіоактивного розпаду, від часу (мал. 220), порівняйте періоди піврозпаду та активності в початковий момент для ізоотопів Йоду та Актинію.



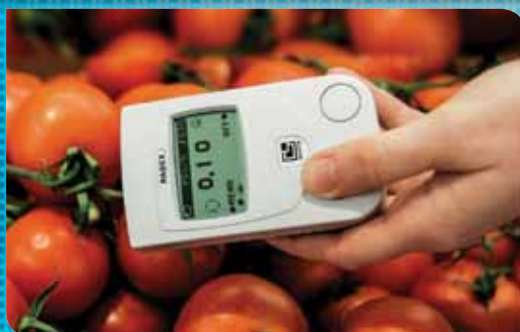
Мал. 220

ВИКОНЦЕМО НАВЧАЛЬНІ ПРОЕКТИ

Радіаційний фон у районах розташування атомних електростанцій у серпні 2016 р. був стабільним. А який радіаційний фон у вашому регіоні? Чи безпечні продукти харчування, що вирощуються у вашій місцевості?

Дізнайтеся про це, виконуючи проекти

**«ОЗНАЙОМЛЕННЯ З РОБОТОЮ ПОБУТОВОГО ДОЗИМЕТРА.
СКЛАДАННЯ РАДІАЦІЙНОЇ КАРТИ РЕГІОНУ» ТА «РАДІОЛОГІЧНИЙ
АНАЛІЗ МІСЦЕВИХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ»**



Рак — хвороба, перемогти яку намагаються вчені-медики всього світу. На сьогодні одним з ефективних методів знищення ракових клітин є радіотерапія, яка передбачає використання сильного випромінювання (потоків α - і β -частинок, нейтронів, протонів, рентгенівських і γ -променів).

Про те, які способи використовують, щоб діяти на клітини пухлини й мінімально опроміювати здорові клітини організму, дізнайтеся, виконуючи проект

«РАДІОТЕРАПІЯ»



РІХ І ВЗАЄМОДІЯ. ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ В МЕХАНІЦІ

Ви дослідили всі природні явища. Розрізняєте механічні, теплові, електричні, магнітні, атомні та ядерні явища. Умієте використовувати фізичні закони й формули, що їх описують з наукової точки зору. Що ж нового ви можете вивчити в розділі «Закони збереження»? Річ у тім, що класична механіка була першою фізичною теорією, якою тривалий час користувались науковці й за допомогою якої намагались пояснити всі фізичні явища. У цьому розділі ми розглянемо фізичні явища цілісно, покажемо, які закони виконуються беззаперечно, а які — лише в певних умовах. З'ясуємо, чи існують ще нерозгадані таємниці у фізиці, які перспективи розвитку цієї науки та її прикладне значення.

§43

Прискорення. Рівноприскорений рух

Ви дізнаєтесь

- Про особливості рівноприскореного руху

Пригадайте

- Означення рівномірного прямолінійного руху
- Скалярні та векторні величини

Прискорення. У 7 класі ми розглядали механічний рух тіла, під час якого швидкість руху не змінюється (рівномірний рух). Під час *рівномірного руху* тіло (матеріальна точка) за будь-які однакові інтервали часу здійснює однакові переміщення. Рівномірно рухається кінець стрілки годинника, молекула газу між двома зіткненнями. У реальному житті найчастіше ми маємо справу з *нерівномірним рухом*, під час якого тіло за однакові інтервали часу здійснює різні переміщення. Тобто швидкість руху тіла постійно змінюється.

Під час руху швидкість може змінюватися й дуже стрімко (рух кулі в рушниці, старт ракети, розбіг літака) і порівняно повільно (початок руху потяга, гальмування автобуса). Очевидно, що для характеристики стрімкості зміни швидкості має існувати певна фізична величина. У фізиці цю величину називають *прискоренням*.

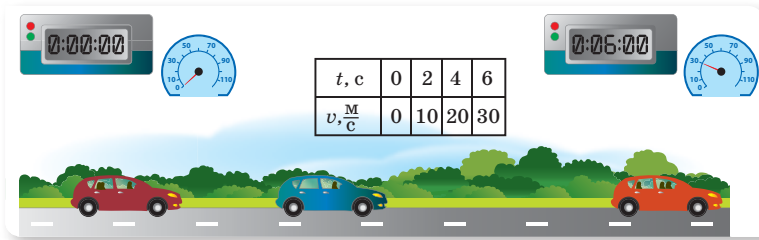
Прискорення \vec{a} — це фізична векторна величина, що характеризує стрімкість зміни швидкості руху тіла (і за числовим значенням, і за напрямком) і визначається відношенням зміни швидкості тіла до інтервалу часу, протягом якого відбулася ця зміна:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t - t_0} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

Тут \vec{v}_0 — початкова швидкість руху тіла; \vec{v} — його кінцева швидкість; Δt — інтервал часу, протягом якого відбулася зміна швидкості.

Одиниця прискорення — $1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ (метр за секунду у квадраті).

Зміна швидкості руху тіла, залежно від умов його руху, може бути довільною. Найчастіше трапляється такий випадок, за якого зміна швидкості характеризується однаковим темпом. Що мається на увазі? Нехай автомобіль починає рухатися (мал. 221) і за перші дві секунди розвиває швидкість до $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, за наступні дві секунди $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, ще через дві секунди він уже рухається зі швидкістю $30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Кожні дві секунди швидкість збільшується, і кожного разу на $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Як бачимо, під час руху автомобіля за однакові інтервали часу швидкість руху змінюється однаково, тобто прискорення під час руху залишається весь час сталим. У цьому разі говорять, що автомобіль рухається рівноприскорено.



Мал. 221. Рівноприскорений рух автомобіля

Рівноприскорений прямолінійний рух. Дамо визначення рівноприскореного руху.

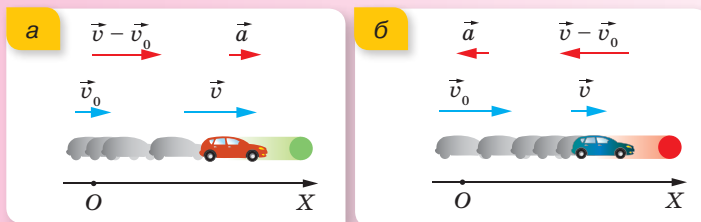
Рух тіла, під час якого за будь-які однакові інтервали часу швидкість руху тіла змінюється однаково, тобто прискорення під час руху тіла залишається весь час сталим за напрямком і числовим значенням, $\vec{a} = \text{const}$, називається **рівноприскореним**.

Рівноприскорений прямолінійний рух може бути власне *прискореним*, якщо швидкість тіла із часом зростає (мал. 222, а), тоді вектори \vec{v} , \vec{v}_0 , \vec{a} напрямлені в один бік, і *рівносповільненим*, якщо швидкість зменшується (мал. 222, б), тоді вектор \vec{a} напрямлений протилежно до векторів \vec{v} , \vec{v}_0 .

У посібниках з фізики і в задачах, щоб не акцентувати увагу на тому, прискорюється тіло чи сповільнюється, вживають термін *рівнозмінний рух*, або тільки термін *рівноприскорений рух*, зважаючи на те, що *рівносповільнений рух* відрізняється лише знаком проекції вектора прискорення.

Прискорення руху визначають, враховуючи векторні властивості цієї фізичної величини. Зокрема, якщо напрямок руху та позитивний напрямок осі X збігаються, то у проекціях на вісь X матимемо такий вираз для прискорення: $a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$. У випадку прискореного руху

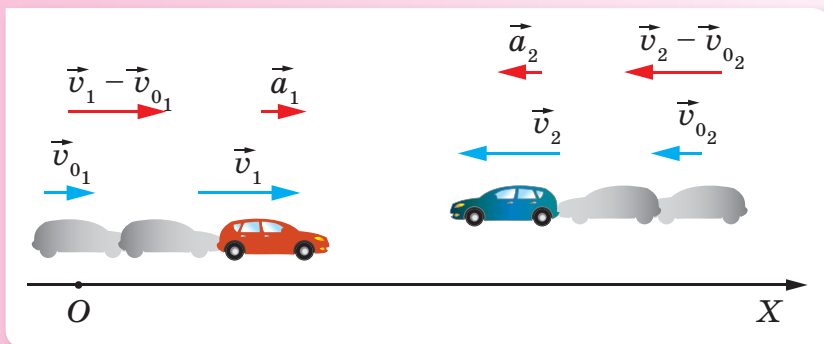
$a_x > 0$, оскільки швидкість руху збільшується й $v_x - v_{0x} > 0$, отже вектор прискорення збігається з напрямком руху. Якщо рух сповільнений і швидкість із часом зменшується, $v_x - v_{0x} < 0$, отже $a_x < 0$ й вектор прискорення напрямлений протилежно до напрямку руху.



Мал. 222. Рівнозмінний рух: а – рівноприскорений рух; б – рівносповільнений рух

Слід пам'ятати, що знак проекції прискорення залежить ще й від вибору системи відліку.

У цьому легко перекоонатись, якщо розглянути випадок, коли обидва тіла рухаються, наприклад, рівноприскорено, але у протилежних напрямках (мал. 223).



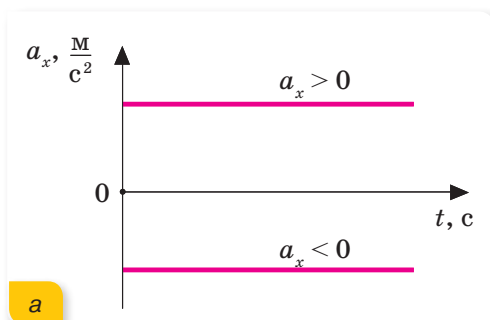
Мал. 223. Рівноприскорений рух двох тіл, що рухаються у протилежних напрямках

З формули для прискорення легко отримати *кінематичне рівняння швидкості для рівноприскореного руху*:

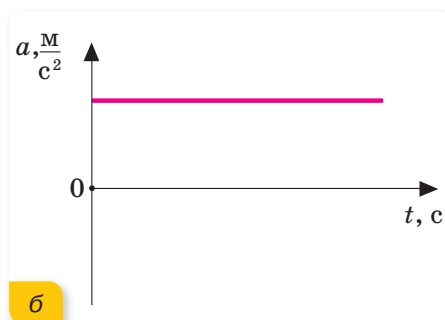
$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t, \text{ або в проекціях на обрану вісь } X: v_x = v_{0x} + a_x t.$$

Графік залежності прискорення від часу для рівноприскореного руху.

Оскільки прискорення із часом не змінюється, має постійне значення та напрямком, то графік $a = f(t)$ є прямою лінією, паралельною осі часу (мал. 224). Як правило, на графіках по осі абсцис відкладають значення часу, по осі ординат — модуль або проекцію прискорення.



а



б

Мал. 224. Графік залежності прискорення від часу при рівноприскореному русі: а — для проекцій прискорення; б — для модуля прискорення

Як видно з графіка, у випадку власне прискороного руху графік розташований вище за вісь часу, оскільки значення проекції прискорення додатне. Якщо ж тіло гальмує, рух сповільнений, проекція прискорення від'ємна, то графік розташований під віссю абсцис. За графіком модуля прискорення визначити, прискорюється чи сповільнюється тіло, неможливо.



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. За будь-якого нерівномірного руху змінюється швидкість. Як прискорення характеризує цю зміну?
2. Як спрямовано вектор прискорення у прямолінійному рівнозмітному русі? У яких випадках проекція прискорення має додатне, а в яких — від'ємне значення?
3. Чи може швидкість руху тіла дорівнювати нулю, а прискорення не дорівнювати нулю?
4. Чи можуть два тіла, які рухаються по одній прямій у протилежних напрямках, мати однакові вектори прискорень?
5. Тіло починає рухатися зі стану спокою прямолінійно, проходячи щосекунди шлях, на 1 м більший, ніж за попередню секунду. Чи стало прискорення тіла?
6. Швидкість прямолінійного руху тіла щосекунди збільшується на 2 %: а) від початкового значення; б) від значення швидкості на початку кожної секунди. Чи стало прискорення тіла в обох випадках?



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 22

1. Поїзд через 10 с після початку руху набув швидкості 0,6 м/с. Через скільки часу від початку руху швидкість поїзда становитиме 3 м/с?
2. Велосипедист їде з гори з прискоренням $0,3 \text{ м/с}^2$. Якої швидкості набуває велосипедист через 20 с, якщо його початкова швидкість становила 4 м/с?
3. За який час автомобіль, рухаючись із прискоренням $0,4 \text{ м/с}^2$, збільшить свою швидкість від 12 до 20 м/с?
4. Наближаючись до станції, потяг рухався зі швидкістю 90 км/год й після початку гальмування зупинився через 50 с. Визначте прискорення потяга під час гальмування.
5. Через скільки секунд після відходу від станції швидкість поїзда метрополітену досягне 72 км/год, якщо прискорення під час розгону становить 1 м/с^2 ?

§44

Графіки прямолінійного рівноприскореного руху. Швидкість і переміщення рівноприскореного руху

Ви дізнаєтесь

- Як обчислювати швидкість і пройдений шлях під час рівноприскореного руху графічним методом

Пригадайте

- Що таке лінійна та квадратична функції, їх графіки
- Як обчислюється площа трапеції
- Формулу скороченого множення
 $a^2 - b^2 = (a - b)(a + b)$

Графік швидкості рівноприскореного руху. Накреслимо графік залежності швидкості від часу $v = f(t)$ для прямолінійного рівноприскореного руху.

Як ми бачимо з формули $v_x = v_{0x} + a_x t$, що описує цей рух, між швидкістю й часом існує лінійна залежність, отже, цей графік матиме вигляд прямої лінії (мал. 225). Тангенс кута α між графіком і перпендикуляром до осі швидкості, що проведений через точку v_{0x} , визначає темп збільшення швидкості:

$$\operatorname{tg} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}. \text{Що більшою є ця величина, то на більше}$$

значення зростає швидкість за одиницю часу, а отже, більшим є прискорення. За положенням графіка швидкості відносно перпендикуляра до осі швидкості, що проведений через точку v_{0x} , можна визначити, збільшується чи зменшується швидкість, а отже, і знак прискорення.

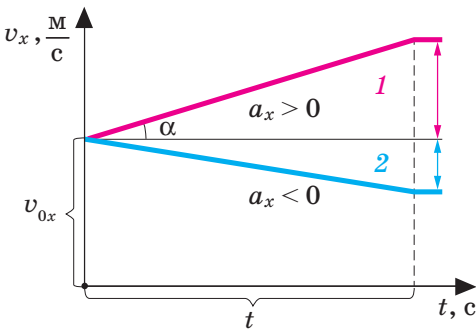
Переміщення в рівноприскореному русі. Щоб отримати формулу для обчислення переміщення тіла під час рівноприскореного руху, скористаємося графічним методом, який дозволяє обчислити переміщення тіла як площу фігури під графіком залежності проекції швидкості руху тіла від часу.

Для цього зобразимо графік залежності швидкості тіла від часу

для випадку, коли його початкова швидкість $v_0 \neq 0$ і прискорення $a > 0$ (мал. 226). У цьому разі модуль переміщення чисельно дорівнює площі трапеції, що утворилася під графіком швидкості.

З курсу геометрії відомо, що площа трапеції дорівнює добутку півсуми основ трапеції на висоту. Відповідно, значення переміщення тіла можна обчислити за формулою:

$$s_x = \frac{v_{0x} + (v_{0x} + v_x)}{2} t = \frac{v_{0x} + (v_{0x} + a_x t)}{2} t = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}.$$



Мал. 225. Графік швидкості рівноприскореного руху тіла

Таким чином, формула для обчислення *переміщення* має вигляд:

$$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Зауважимо, що в рівноприскореному прямолінійному русі, коли тіло рухається, не змінюючи напрямку руху, модуль переміщення дорівнює шляху, який пройшло тіло ($s = l$), і всі міркування щодо визначення переміщення в однаковій мірі стосуються шляху.

Для розв'язування задач часто застосовується формула залежності переміщення тіла від величини початкової й миттєвої швидкостей (швидкості тіла в певний момент часу). Її можна отримати, розв'язавши систему рівнянь:

$$s_x = \frac{v_{0x} + v}{2}t,$$

$$v_x = v_{0x} + a_x t.$$

Напишемо друге рівняння відносно часу $t = \frac{v_x - v_{0x}}{a_x}$ і підставимо в перше. Після алгебраїчних перетворень отримаємо:

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}, \text{ або } v_x^2 - v_{0x}^2 = 2a_x s_x.$$

Тепер пригадаємо, що проекція переміщення виражається різницею $s_x = x - x_0$. Прирівняємо вираз $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$ з попереднім. Отримаємо $x - x_0 = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$, звідки

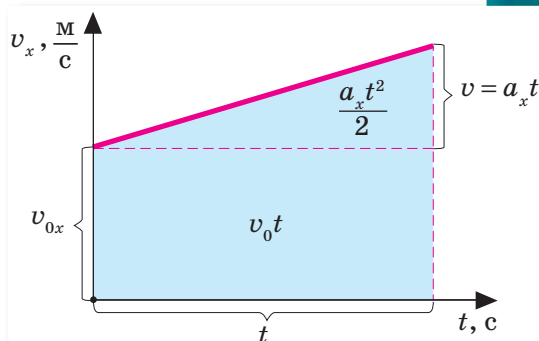
$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Цей вираз ще називають *кінематичним рівнянням координати для рівноприскореного руху*.

Графік переміщення рівноприскореного руху. З курсу алгебри вам відома квадратична функція $y = ax^2 + bx + c$, де x — аргумент; $a \neq 0$; b і c — сталі величини.

Рівняння переміщення для рівноприскореного руху $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$

також є квадратичною функцією, де аргументом є час (t), функцією — проекція переміщення (s_x), коефіцієнтом при квадраті аргументу — половиною значення прискорення $\left(\frac{a_x}{2}\right)$, що може набувати значення $\frac{a_x}{2} > 0$



Мал. 226. Графік швидкості рівноприскореного руху тіла

або $\frac{a_x}{2} < 0$. Коефіцієнт при аргументі b — це початкова швидкість (v_{0x}),

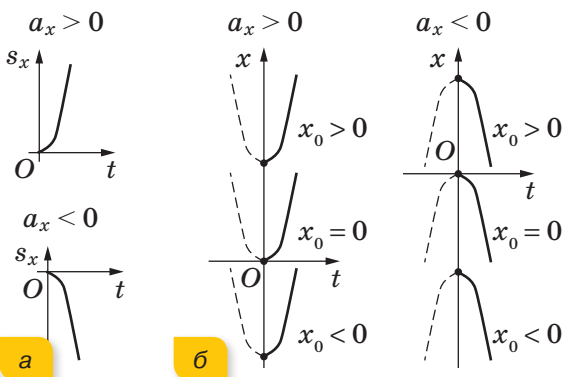
яка може набувати значення $v_{0x} > 0$, $v_{0x} = 0$, $v_{0x} < 0$. Коефіцієнт $c = 0$.

Графіком квадратичної функції є парабола (мал. 227, а).

За $\frac{a_x}{2} > 0$ гілки параболи спрямовані вгору, за $\frac{a_x}{2} < 0$ — униз. Що меншим є модуль прискорення (a), то далі відходять гілки графіка від осі переміщення.

Вершина параболи міститься в точці з координатами $\left(-\frac{v_{0x}}{2a_x}; -\frac{v_{0x}^2}{4a_x}\right)$.

Графік координати рівноприскореного руху. Якщо відкласти в певному масштабі по горизонтальній осі (осі абсцис) час, що пройшов з початку рівноприскореного руху, а по вертикальній осі (осі ординат) — значення координати тіла, то одержаний графік виражатиме залежність координати тіла від часу (його також називають *графіком руху*):



Мал. 227. Графіки залежності:

а) $s_x = s_x(t)$; б) $x = f(t)$

Для рівноприскореного руху графіком руху, як і в разі переміщення, є парабола, положення вершини якої також залежить від напрямів початкової швидкості та прискорення (мал. 227, б). У рівнянні

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

на відміну від рівняння переміщення, коефіцієнт $c \neq 0$.

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2},$$

За допомогою графіків рівноприскореного прямолінійного руху тіла можна розв'язати **основу задачу механіки** — визначити положення тіла в будь-який момент часу.

Знання кінематичних величин рівноприскореного руху й уміння їх визначати має надзвичайно важливе практичне значення, адже в житті ми всі є учасниками дорожнього руху (мал. 228).



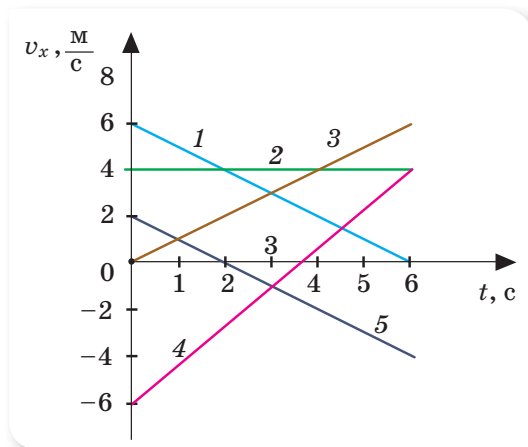
Мал. 228. Учасники дорожнього руху

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

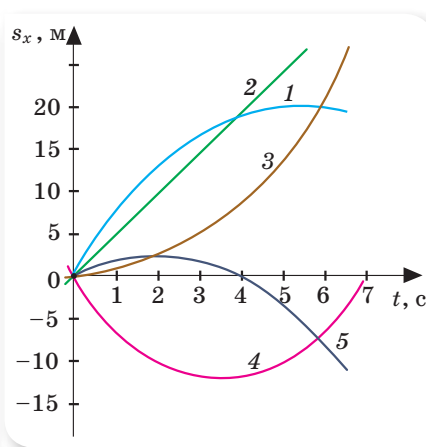


Я поміркую й зможу пояснити

1. Виведіть залежність переміщення тіла від часу при рівноприскореному русі у випадку $a_x < 0$.
2. Яке з математичних рівнянь розв'язує основну задачу механіки для рівноприскореного руху?
3. Схарактеризуйте рух тіл за графіками залежності швидкості від часу, що зображені на малюнку 229.
4. Схарактеризуйте рух тіл за графіками залежності переміщення від часу, що зображені на малюнку 230.



Мал. 229



Мал. 230



Вчимося розв'язувати задачі

Під час розв'язування задач слід виконувати певну послідовність дій.

1. Передусім слід вибрати систему відліку, яка складається з тіла відліку, пов'язаної з ним системи координат і приладу відліку часу. Визначити положення тіла в початковий момент часу.
2. Виконуючи схематичний малюнок до задачі, потрібно зобразити систему відліку, вказати напрямки векторних величин (переміщення, швидкості тощо).
3. Установити характер руху (рівномірний чи нерівномірний). Записати кінематичні рівняння (закони) руху для кожного тіла у векторній формі та в проєкціях на вибрані осі координат. Ураховувати знак проєкції вектора на вибрану координатну вісь!
4. За потреби, якщо кількість невідомих більша, ніж кількість рівнянь, — установити додаткові рівняння, які можуть виражати конкретні математичні зв'язки, що випливають з умови задачі.
5. Отриману систему рівнянь розв'язати відносно шуканих величин.

Для графічного розв'язування задачі використовують графіки залежності від часу координат або швидкості (переміщення чи шляху). Це дасть змогу визначати невідомі величини на основі графіків. Слід пам'ятати, що графічні залежності кінематичних величин можуть виявитися корисними як під час аналізу умови задачі, так і для перевірки результатів її розв'язання. На графіках в умовах задач (якщо немає відповідного пояснення) на вертикальній осі відкладено проєкцію вектора на вісь ординат.

Графіки кінематичних величин прямолінійного руху

	Спокій	Рівномірний рух	Рівноприскорений рух	Рівносповільнений рух
	$v_x = 0$ $s_x = 0$ $x = x_0$	$a_x = 0$ $v_x = \text{const}$ $s_x = v_x t$ $x = x_0 + v_x t$ $\vec{v}_1 \uparrow \uparrow OX$ $\vec{v}_2 \downarrow \downarrow OX$	$a_x = \text{const},$ $\vec{a} \uparrow \uparrow \vec{v}_0, \vec{v}_0 \uparrow \uparrow OX$ $v_x = v_{0x} + a_x t$ $s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$ $x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$	$a_x = \text{const},$ $\vec{a} \uparrow \downarrow \vec{v}_0, \vec{v}_0 \uparrow \uparrow OX$ $v_x = v_0 - a t$ $s_x = v_{0x} t - \frac{a_x t^2}{2}$ $x = x_0 + v_{0x} t - \frac{a_x t^2}{2}$
$a_x(t)$				
$v_x(t)$				
$s_x(t)$				
$l(t)$				
$x(t)$				

В умовах деяких задач не обумовлено, йдеться про вектор, його модуль чи про проекцію. Аналізуючи умову задачі (або відповідь), треба в кожному конкретному випадку уточнювати, що саме дано в задачі: вектор, його модуль чи проекцію. Зверніть увагу, що модуль векторної величини позначають просто буквою, не ставлячи значка вектора та модуля: замість $|\vec{s}|, |\vec{v}|, |\vec{a}|$ записують просто s, v, a .

Вважається, що рух відбувається вздовж осі, додатний напрямок якої збігається з напрямком руху в початковий момент часу. У деяких задачах, де в умові чи відповіді значення якої-небудь векторної величини наведено зі знаком «мінус», йдеться про проекцію відповідного вектора на вісь координат.

Задача. Кульку штовхнули по похилому жолобу вгору зі швидкістю $6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Прискорення кульки $0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Визначте швидкість кульки через 8 с і 16 с після початку руху.

Дано:

$$v_0 = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$a = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$t_1 = 8 \text{ с}$$

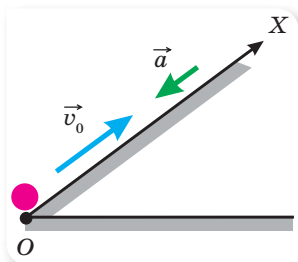
$$t_2 = 16 \text{ с}$$

$$v_1 - ?$$

$$v_2 - ?$$

Розв'язання:

Вісь X направимо вздовж жолоба (мал. 231). Проекція вектора \vec{v}_0 збігається з напрямком осі X , оскільки швидкість зменшується, то вектор прискорення \vec{a} напрямлений протилежно до осі X .



Мал. 231. Рух кульки по похилому жолобу

Кінематичне рівняння швидкості $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$.

У проекціях на вісь X з урахуванням знаків проекції векторів \vec{v}_0 , \vec{a} :

$$v_x = v_{0x} - a_x t.$$

Визначимо швидкість тіла в момент часу $t_1 = 8 \text{ с}$:

$$v_{1x} = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 8 \text{ с} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

У момент часу $t_2 = 16 \text{ с}$:

$$v_{2x} = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 16 \text{ с} = -2 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Знак «мінус» означає, що в момент часу $t_2 = 16 \text{ с}$ швидкість кульки напрямлена протилежно осі X , тобто кулька змінила напрямок руху і скочується вниз.

Відповідь: $v_{1x} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $v_{2x} = -2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 23

1. Залежність швидкості від часу в момент розгону автомобіля задано рівнянням $v = 0,8t$. Побудуйте графік швидкості й визначте швидкість наприкінці п'ятої секунди.
2. Швидкість поїзда за 20 с зменшилася із 72 до 54 км/год. Напишіть формулу залежності швидкості від часу й побудуйте графік цієї залежності.
3. Рівняння швидкості руху тіла $v = 5 + 4t$. Запишіть відповідне рівняння шляху.
4. Автомобіль за 10 с збільшив швидкість із 18 до 27 км/год. Визначте прискорення і шлях, пройдений автомобілем за цей час.
5. За який час автомобіль, рухаючись зі стану спокою з прискоренням $0,6 \text{ м/с}^2$, проїде 30 м?

6. Гальмовий шлях автомобіля, що рухається зі швидкістю $v_1 = 15$ км/год, становить $s_1 = 1,5$ м. Визначте гальмовий шлях s_2 цього самого автомобіля, якщо він рухатиметься зі швидкістю $v_2 = 90$ км/год. Прискорення в обох випадках однакове.
7. Тіло рухається прямолінійно й рівноприскорено ($a = 3$ м/с²). Запишіть рівняння $v = v(t)$ і побудуйте графік цієї функції, якщо початкова швидкість тіла $v_0 = 3$ м/с.
8. Рівняння руху тіла має вигляд: $x = 0,4t^2$. Напишіть залежність $v_x(t)$ і побудуйте її графік. Заштрихуйте на графіку площу, що чисельно дорівнює шляху, пройденому тілом за 4 с, й обчисліть цей шлях.
9. Рухаючись із прискоренням $0,3$ м/с², лижник з'їхав по схилу завдовжки 100 м за 20 с. Яку швидкість мав лижник на початку й у кінці схилу?
10. Рухи матеріальних точок задано такими рівняннями: а) $x_1 = 10t + 0,4t^2$; б) $x_2 = 2t - t^2$; в) $x_3 = -4t + 2t^2$; г) $x_4 = -t - 6t^2$. Напишіть залежність $v = v(t)$ для кожного випадку; побудуйте графіки цих залежностей; визначте вид руху в кожному випадку.
11. Сноубордист з'їхав з гори, що має схил 40 м, за 10 с, а потім проїхав по горизонтальній ділянці ще 20 м і зупинився. Обчисліть швидкість у кінці схилу, прискорення на кожній ділянці, загальний час руху та середню швидкість на всьому шляху. Накресліть графік швидкості.
12. Велосипедист перші 4 с рухався зі стану спокою з прискоренням 1 м/с², а потім $0,1$ хв їхав рівномірно й останні 20 м, доки не зупинився, — рівносповільнено. Обчисліть середню швидкість за весь час руху. Побудуйте графік $v_x(t)$.
13. Відстань між двома зупинками міжміський автобус проїхав із середньою швидкістю $v_c = 72$ км/год за $t = 20$ хв. Розгін та гальмування разом тривали $t_1 = 4$ хв, а решту часу автобус рухався рівномірно. Яку швидкість v мав автобус під час рівномірного руху?

§45

Інерціальні системи відліку. Перший закон Ньютона

Ви дізнаєтесь

■ Чому важливо вказувати систему відліку, відносно якої розглядають рух

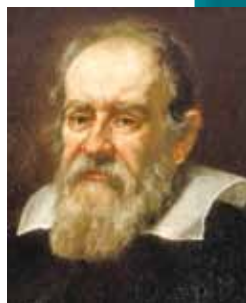
Пригадайте

■ Явище інерції
■ Для чого потрібні системи відліку

Інерція. У попередніх параграфах ми розглядали прямолінійний рівноприскорений рух тіла, не замислюючись, чому тіло може рухатися рівномірно або прискорено. Що є причиною зміни його швидкості або напрямку руху?

Пам'ятаєте, у 7 класі ми вже шукали відповідь на ці запитання й з'ясували, що тілам властива здатність до збереження руху — *інертність*, а взаємодія одних тіл з іншими є лише причиною зміни їхньої швидкості, а не руху як такого. Цей висновок ще називали законом інерції.

Якщо на тіло не діють інші тіла (або дія тіл скомпенсована), воно перебуває у стані спокою або прямолінійно-рівномірного руху.



Галілео Галілей
(1564–1642)
Італійський фізик-дослідник



Ісаак Ньютон
(1643–1727)
Англійський фізик, астроном, математик

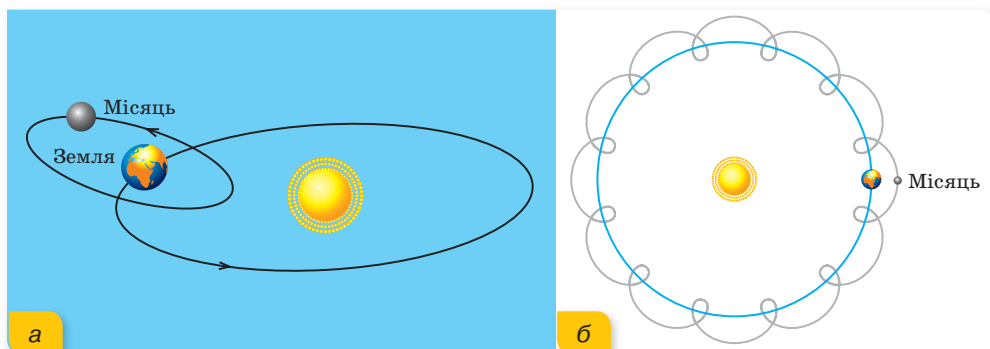
Наприклад, якщо кулька котиться по гладенькій поверхні за повної відсутності сили тертя та будь-якого опору, то її швидкість залишатиметься постійною і для підтримання руху не потрібно прикладати жодної сили.

Висновків щодо причин виникнення руху та його змін свого часу дійшов видатний італійський учений-дослідник Галілео Галілей. Для цього він провів багато дослідів. Деякі досліді Галілея вважаються фундаментальними, оскільки на їхніх результатах ґрунтуються важливі фізичні закони й теорії. Так, висновки Галілея та інших дослідників згодом були узагальнені Ісааком Ньютоном, який сформулював три основні закони механіки.

Але перед тим, як розглянути перший закон Ньютона, нам необхідно з'ясувати, чи впливає вибір системи відліку на виконання закону інерції.

Інерціальна система відліку. Рух (або спокій) будь-якого тіла розглядають відносно певної системи відліку. Пригадаймо: система відліку складається із системи координат, що зв'язана з тілом відліку, і секундоміра.

Зрозуміти важливість вибору системи відліку можна, порівнявши рух Місяця відносно Землі та відносно Сонця. Усі знають, що Місяць рухається навколо Землі по траєкторії, що нагадує коло (мал. 232, а). А тепер порівняйте цю траєкторію з траєкторією руху Місяця, якщо система координат зв'язана із Сонцем (мал. 232, б).

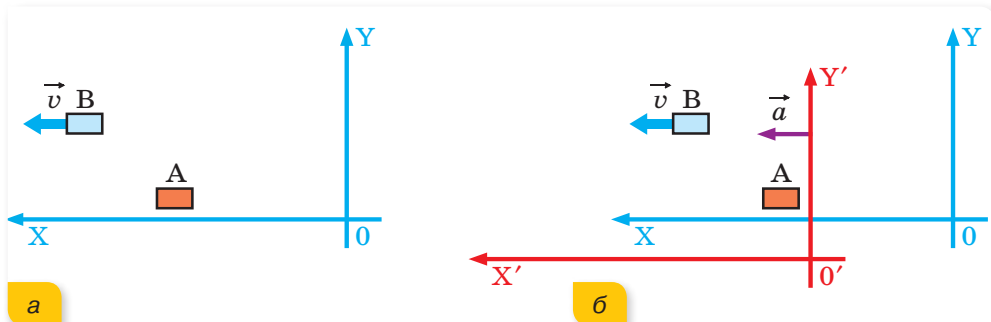


Мал. 232. Траєкторія руху Місяця:
а — відносно Землі; б — відносно Сонця

Залежність траєкторії, шляху, переміщення та швидкості руху від вибору системи відліку називають **відносністю руху**.

Будь-який рух (як і стан спокою) є відносним, тобто вимагає вказування системи відліку. Тому, стверджуючи, що тіло зберігає стан спокою або прямолінійного рівномірного руху, варто зазначити систему відліку, відносно якої розглядається цей рух.

Наприклад. Нехай ми маємо систему відліку XOY , відносно якої тіло A перебуває у стані спокою, а тіло B рухається прямолінійно й рівномірно (мал. 233, *а*).



Мал. 233. Розгляд руху тіл відносно: *а* — інерціальної системи відліку; *б* — неінерціальної системи відліку

Виберемо іншу систему відліку $X'O'Y'$, яка рухається відносно першої з прискоренням \vec{a} (мал. 233, *б*). Тоді відносно системи відліку $X'O'Y'$ і тіло A , і тіло B рухаються прискорено, хоч на них і не діють інші тіла (тобто відсутні сили, що зумовлюють їхнє прискорення). Таким чином, у системі відліку, що рухається з прискоренням, закон інерції не виконується.

Закон інерції виконується в так званих *інерціальних системах відліку*.

Інерціальна система відліку — це система відліку, в якій тіло, на яке не діють жодні сили (або рівнодійна цих сил дорівнює нулю), рухається рівномірно й прямолінійно.

Будь-яка система відліку, що рухається відносно інерціальної системи відліку поступально, рівномірно і прямолінійно — також є інерціальною системою. Системи відліку, що рухаються відносно інерціальних систем із прискоренням (поступально чи обертально) є *неінерціальними*.

У земних умовах для опису багатьох механічних явищ достатньо інерціальну систему відліку зв'язати із Землею, знехтувавши при цьому обертальними рухами Землі навколо своєї осі й навколо Сонця.

Перший закон Ньютона. Визначивши роль системи відліку, сформулюємо перший закон Ньютона так:



існують такі системи відліку, відносно яких матеріальна точка зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, якщо на неї не діють інші тіла або дія зовнішніх тіл скомпенсована.

Суттєвим є те, що в інерціальних системах (наприклад, в автобусі на зупинці) для збереження спокою не потрібно прикладати ніяких зусиль, а в неінерціальній системі відліку (наприклад, в автобусі в момент різкого гальмування) пасажиром для цього доводиться напружувати м'язи, тримаючись за поручень, незважаючи на те, що додаткової дії в межах салону автобуса не виникає. Ця «неіснуюча сила» і є силою інерції.



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. У чому сутність явища інерції? У яких випадках рух тіла можна називати рухом за інерцією?
2. Які системи відліку називаються інерціальними? Неінерціальними?
3. Яким чином можна довести, що система відліку є інерціальною?
4. Поясніть, чому систему відліку, пов'язану із землею, вважають інерціальною.
5. Як формулюється перший закон Ньютона? Наведіть приклади, які підтверджують цей закон.



§46

Другий закон Ньютона

Другий закон Ньютона. Запитання, над яким ми поміркуємо цього разу, таке: що змушує тіло змінити свою швидкість або напрямку руху?

Спостереження підтверджують, що для того, аби змінити швидкість кульки, яка котиться по гладенькій горизонтальній поверхні, потрібно подіяти на неї. Наприклад, якщо ви підштовхнете кульку в напрямку руху, то вона покотиться швидше. Якщо ви помітили, що кулька змінила напрямку руху, то можна зробити висновок, що сила діяла під кутом до напрямку руху. До того ж існує певний зв'язок між величиною діючої сили, масою та прискоренням тіла. Розглянемо дослід.

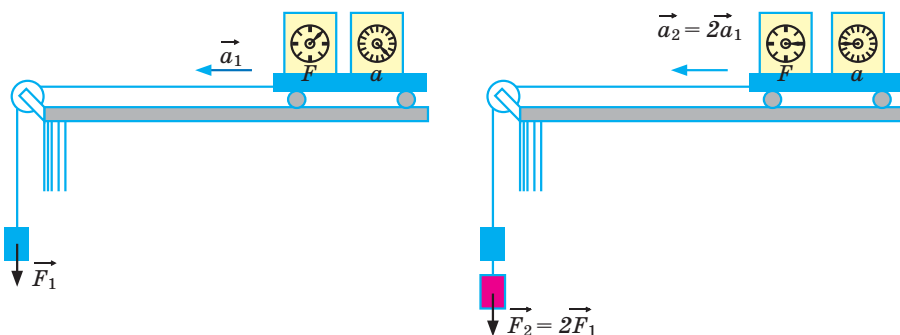
На рухомий візок установимо чутливий динамометр, за допомогою якого визначатимемо прикладену до візка силу F , та акселерометр — прилад для вимірювання прискорення візка a . Підвішений до перекинутої через блок нитки тягарець діє із силою \vec{F}_1 і змушує візок рухатися з прискоренням \vec{a}_1 (мал. 234, с. 208).

Ви дізнаєтесь

- У чому важливість законів Ньютона

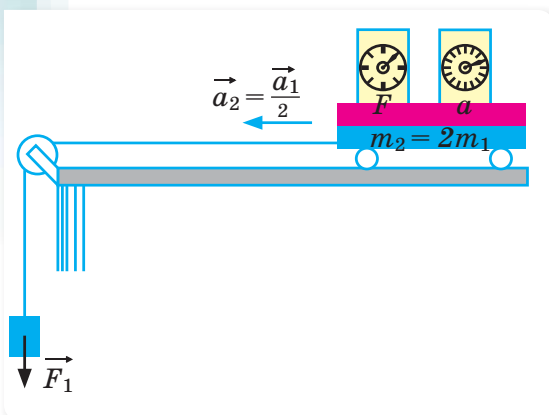
Пригадайте

- Що таке взаємодія та сила



Мал. 234. Дослід, що ілюструє залежність прискорення від діючої сили

Повернемо візок у початкове положення й підвісимо до нитки два тягарці. Отже, тепер прикладена до візка сила $\vec{F}_2 = 2\vec{F}_1$. Дослід показує, що удвічі зросло й прискорення візка, $\vec{a}_2 = 2\vec{a}_1$. Продовжуючи збільшувати кількість тягарців, переконаємося, що у скільки разів збільшується прикладена до візка сила — у стільки ж разів збільшується і прискорення візка $\vec{a} \sim \vec{F}$ за незмінної маси візка $m = \text{const}$.



Мал. 235. Дослід, що ілюструє залежність прискорення від маси тіла

Змінимо умови дослідів (мал. 235). Залишимо прикладену силу \vec{F}_1 незмінною, а змінюватимемо масу візка. Якщо масу візка збільшити у 2 рази, його прискорення зменшиться удвічі. Збільшення маси візка у 3 рази зменшує прискорення утричі. Отже, дослід показує, що прискорення обернено пропорційне до маси візка, $a \sim \frac{1}{m}$ за постійної сили $\vec{F} = \text{const}$.

Об'єднавши результати дослідів, одержимо $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$. Ця рівність і є математичним виразом другого закону Ньютона:

в інерціальній системі відліку прискорення \vec{a} , якого набуває тіло масою m під дією сили \vec{F} , прямо пропорційне силі, обернено пропорційне масі тіла й має той самий напрямок, що й прикладена сила:

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

Якщо на тіло одночасно діє кілька сил, то результуюче прискорення визначається рівнодією сил. З другого закону Ньютона випливає, що у випадку, коли рівнодія сил дорівнює нулю, прискорення тіла також дорівнює нулю. Те ж саме для цього випадку стверджує й перший закон Ньютона.

Для багатьох практичних завдань зручним для використання є запис другого закону Ньютона в такій математичній формі:

$$\vec{F} = m\vec{a}.$$

Із цієї формули встановлюють одиницю сили. За одиницю сили в СІ взято таку силу, яка тілу масою 1 кг надає прискорення $1 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$. Таким чином, 1 Н можна визначити через основні одиниці СІ, $1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$.

Зазначимо, що математична форма запису другого закону Ньютона у вигляді $\vec{F} = m\vec{a}$ є дещо відмінною від тієї, як її записав сам Ньютон, але це не змінює суті закону. Другий закон Ньютона узагальнює надзвичайно важливий факт:

дія сил не спричинює самого руху, а лише змінює його. Тобто дія сили на тіло спричинює зміну його швидкості (прискорення), а не саму швидкість.

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Чи можна з формули $\vec{F} = m\vec{a}$ зробити висновок, що сила, яка діє на тіло, залежить від його маси та прискорення?
2. Який важливий висновок можна зробити з другого закону Ньютона?
3. Чи правильне твердження, що тіло рухається в тому ж напрямку, куди спрямована прикладена до нього сила?
4. За багато років до Ньютона італійський художник і вчений Леонардо да Вінчі висловив таке твердження: «Якщо сила за заданий час переміщує тіло на певну відстань, то та ж сила половину такого тіла перемістить на таку ж відстань за удвічі менший час». Чи правильне це твердження?

Вчимося розв'язувати задачі

Загальний алгоритм розв'язування задач

1. Розв'язання задачі починають з детального опису явищ, про які йдеться в умові. Потрібно з'ясувати, з якими тілами взаємодіє досліджуване тіло, яка сила характеризує цю взаємодію; як рухається тіло (прямолінійно чи криволінійно, прискорено чи рівномірно); якими є початкові чи кінцеві умови руху тіла тощо.
2. Виконують малюнок до задачі. Для спрощення сили, що діють на тіло, зображають стрілками, прикладеними в одній точці — центрі тіла. Сили, з якими тіло діє на взаємодіючі з ним тіла (за третім законом Ньютона), на малюнку не вказують. Також не вказують рівнодію прикладених до тіла сил. Звертайте увагу на те, що сила реакції опори \vec{N} напрямлена перпендикулярно до поверхні, на якій перебуває тіло,

сила тяжіння $m\vec{g}$ завжди напрямлена вертикально вниз, сила тертя спокою чи ковзання $\vec{F}_{\text{тер}}$ напрямлена проти напрямку руху тіла вздовж поверхні дотику. На малюнку вказують напрямки швидкості та прискорення.

3. Вибирають інерціальну систему відліку, в якій зручно досліджувати рух у цій конкретній задачі. Напрямок координатних осей обирають залежно від характеру руху. Наприклад, якщо тіло рухається по похилій площині, то вісь X спрямовують уздовж похилої площини в напрямку руху і, відповідно, перпендикулярно до неї — вісь Y ; якщо рух відбувається вздовж однієї прямої, достатньо вибрати одну вісь і спрямувати її в напрямку руху тіла.
4. Рівняння другого закону Ньютона спочатку записують у векторній формі, враховуючи, що сума векторів усіх прикладених сил дорівнює $m\vec{a}$, якщо тіло рухається рівноприскорено, і дорівнює 0 в разі рівномірного руху або стану спокою.
5. Далі записують систему рівнянь у проєкціях на кожну вісь, враховуючи знаки проєкцій.
6. Порівнюють кількість невідомих величин у задачі з кількістю рівнянь отриманої системи. Якщо кількість невідомих дорівнює або є меншою від кількості рівнянь, то задачу математично сформульовано правильно і вона має розв'язання. В іншому разі необхідно ввести додаткові рівняння, наприклад, рівняння рівноприскореного руху, і розв'язати утворену систему рівнянь.
7. Отримують кінцеву формулу, й обчислюють значення шуканої величини. Аналізують одержану відповідь.
8. Досліджують інші можливі способи розв'язання задачі.

Задача 1. На тіло масою 2 кг протягом 5 с діє сила 2 Н. Якої швидкості набуде тіло і який шлях воно пройде за цей час, якщо на початку взаємодії воно було нерухомим?

Дано:

$$m = 2 \text{ кг}$$

$$t = 5 \text{ с}$$

$$F = 2 \text{ Н}$$

$$v_0 = 0$$

$$s = ?$$

Розв'язання:

Рух відбувається в горизонтальному напрямку, і напрямки сили, прискорення та швидкості збігаються.

Згідно з другим законом Ньютона тіло отримує прискорення, модуль якого $a = \frac{F}{m}$.

Згідно з формулами кінематики і враховуючи, що $v_0 = 0$, виразимо прискорення: $a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{v}{t}$.

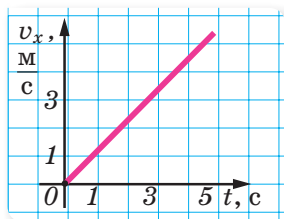
Прирівнявши формули, визначаємо швидкість: $\frac{F}{m} = \frac{v}{t}$; $v = \frac{Ft}{m}$.

Переміщення в рівноприскореному русі, за $v_0 = 0$: $s = \frac{at^2}{2} = \frac{Ft^2}{2m}$.

Обчислення: $v = \frac{2\text{ Н} \cdot 5\text{ с}}{2\text{ кг}} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. $s = \frac{2\text{ Н} \cdot 25\text{ с}^2}{2 \cdot 2\text{ кг}} = 12,5\text{ м}$.

Відповідь: $v = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $s = 12,5\text{ м}$.

Задача 2. На малюнку 236 зображено графік залежності проєкції швидкості руху потяга, маса якого 300 т, від часу. Визначте силу, під дією якої він рухається, якщо сила опору 300 кН.



Мал. 236. Графік залежності проекції швидкості від часу

Дано:

Графік $v_x = v_x(t)$

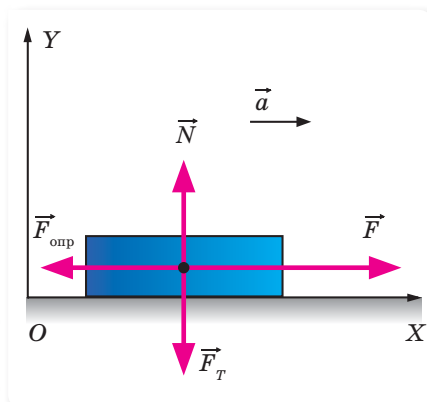
$$m = 3 \cdot 10^5 \text{ кг}$$

$$F_{\text{опр}} = 3 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$F = ?$$

Розв'язання:

Зробимо схематичний малюнок до задачі (мал. 237).



Мал. 237.
Сили, що діють на потяг

Другий закон Ньютона у векторній формі в цьому випадку має вигляд:

$$\vec{F}_T + \vec{N} + \vec{F}_{\text{опр}} + \vec{F} = m\vec{a}. \text{ У проекціях на вісь X: } F - F_{\text{опр}} = ma.$$

Тоді $F = ma + F_{\text{опр}}$.

Аналізуючи графік залежності проекції швидкості від часу, бачимо, що швидкість потяга змінилася від $v_0 = 0$ до $v = 5 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ протягом $t = 5$ с.

Таким чином, потяг рухається з прискоренням $a = 1 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$.

$$\text{Проводимо обчислення: } F = 3 \cdot 10^5 \text{ кг} \cdot 1 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} + 3 \cdot 10^5 \text{ Н} = 6 \cdot 10^5 \text{ Н}.$$

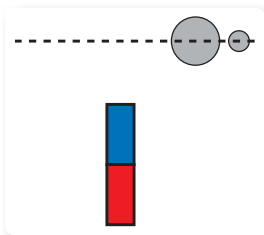
Відповідь: $F = 6 \cdot 10^5$ Н.



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

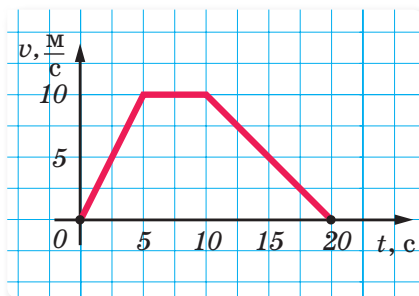
Вправа 24

1. Дві металеві кульки — велика та мала — рухаються з однаковими швидкостями по склу (мал. 238, с. 212, вигляд згори). Неподалік від траєкторії їхнього руху розташовано магніт. Як зміняться траєкторії руху цих кульок поблизу магніту? Яка з кульок відхилиться сильніше й чому?



Мал. 238

2. Під дією сили 20 Н тіло рухається з прискоренням $0,4 \text{ м/с}^2$. З яким прискоренням рухатиметься це саме тіло під дією сили 50 Н?
3. На тіло масою 2160 кг, що лежить на горизонтальній поверхні, діє сила, під дією якої тіло за 30 с проходить відстань 500 м. Визначте величину цієї сили.
4. Моторний човен рухається з прискоренням 2 м/с^2 під дією трьох сил: сили тяги двигуна $F_1 = 1 \text{ кН}$, сили вітру $F_2 = 1 \text{ кН}$ та сили опору води $F_3 = 414 \text{ Н}$. У якому напрямку рухається човен та яка його маса, якщо сила F_1 напрямлена на південь, сила F_2 — на захід, а сила F_3 — напрямлена проти руху човна.
5. Вагон масою 20 т рухається рівносповільнено з прискоренням $0,3 \text{ м/с}^2$ і початковою швидкістю 54 км/год. Визначте гальмівну силу, що діє на вагон, час руху вагону до зупинки й переміщення вагону.
6. М'яч масою 0,5 кг після удару, що тривав 0,02 с, набув швидкості 10 м/с. Визначте середню силу удару.
7. На малюнку 239 зображено графік зміни швидкості тіла масою 2 кг. Визначте, як змінювалась при цьому сила, що діє на тіло.



Мал. 239

8. Під дією сили 60 Н тіло набуває прискорення $0,8 \text{ м/с}^2$. Яка сила надасть цьому тілу прискорення 2 м/с^2 ?
9. Автомобіль масою 4 т, рушаючи зі стану спокою, на відстані 240 м набуває швидкості 43,2 км/год. Визначте силу тяги двигунів автомобіля, якщо сила опору рухові 2 кН.

§47

Третій закон Ньютона. Межі застосування класичної механіки

Третій закон Ньютона. Ані перший, ані другий закони Ньютона нічого не говорять про те, що відбувається з другим взаємодіючим тілом. Нам здається, що, вдаривши ногою по м'ячу, тільки ми подіяли на м'яч із деякою силою. Мало хто замислюється, що в момент удару м'яч ударив нас із такою самою силою! Це підтверджує третій закон Ньютона.

Розглянемо дослід. Два візки, що мають однакову масу ($m_1 = m_2 = m$), поставимо на горизонтальний стіл і до одного з них прикріпимо зігнуту пружну пластину, що зафіксована ниткою (мал. 240, а). Другий візок поставимо так, щоб він теж торкався зігнутої пластини. Якщо нитку, що фіксує пластину, перерізати, пластина, розпрямившись, приведе в рух обидва візки. Отже, візки набудуть прискорень. Оскільки маси візків однакові, то однакові й прискорення, і відстані, що проходять візки за певний час (мал. 240, б).

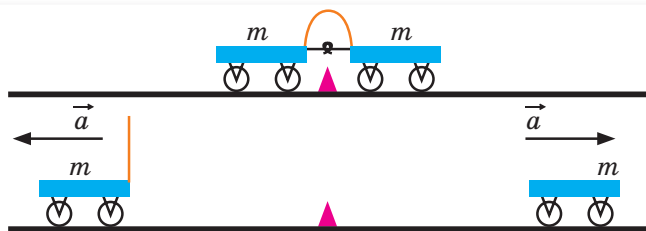
Коли на один з візків покласти який-небудь вантаж (збільшити його масу) і повторити дослід, то візок, що має більшу масу, пройде меншу відстань (мал. 241, б).

Ви дізнаєтесь

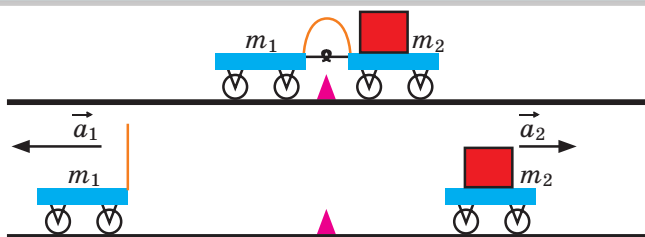
- Що під час взаємодії тіл сили завжди виникають попарно

Пригадайте

- Перший і другий закони Ньютона



Мал. 240. Взаємодія однакових за масою візків:
а — у стані спокою; б — набуття візками однакових прискорень унаслідок дії однієї й тієї самої сили



Мал. 241. Взаємодія візків різної маси:
а — у стані спокою; б — набуття візками різних прискорень унаслідок дії однієї й тієї самої сили

Вимірюючи шлях, пройдений візками до зупинки, можна встановити, що в разі взаємодії двох тіл відношення модулів їхніх прискорень дорівнює оберненому відношенню їхніх мас: $\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$ або $m_1 a_1 = m_2 a_2$.

Прискорення взаємодіючих тіл мають протилежні напрямки, тому у векторній формі $m_1 \vec{a}_1 = -m_2 \vec{a}_2$, або $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$.

Одержана рівність і є математичним виразом третього закону Ньютона:

в інерціальній системі відліку сили, з якими взаємодіючі тіла діють одне на одне, напрямлені вздовж однієї прямої, рівні за модулем та протилежні за напрямком $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$.

Цей закон відображає той факт, що у природі немає й не може бути односторонньої дії одного тіла на інше, а існує лише взаємодія.

Третій закон Ньютона формулюють ще й так: **у дії завжди є протидія**.

Сили будь-якої природи (гравітаційні, електромагнітні) під час взаємодії тіл виникають попарно, мають протилежні напрямки, однакові за модулем. Природа обох сил під час взаємодії однакова.

Важливо наголосити, що сили взаємодії хоч і рівні та протилежно напрямлені, але не врівноважують одна одну, оскільки прикладені до різних тіл.

Межі застосування класичної механіки. Закони механіки Ньютона (її ще називають класичною механікою) встановлені для тіл, що нас оточують. Це макроскопічні тіла, що складаються з величезної кількості молекул й атомів. До руху частинок мікросвіту закони Ньютона можна застосовувати лише в деяких випадках.

Закони механіки Ньютона встановлені для тіл, що рухаються зі швидкостями, які набагато менші від швидкості світла. Рух зі швидкістю v , що набагато менша від швидкості світла c у вакуумі ($v \ll c$, де $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$), називають *нерелятивістським*.

Закони механіки, сформульовані Ньютоном, — справджуються в усіх інерціальних системах відліку. У різних системах відліку незмінними є час, маса тіла, прискорення та сила. Траєкторія, швидкість і переміщення є різними в різних інерціальних системах відліку.

Важливо ще раз наголосити, що сила, згідно із законами Ньютона, визначає прискорення тіла, а не його швидкість. Це означає, що сила не є причиною руху. Сила — це причина зміни швидкості руху тіла. Сам рух не потребує причини. Рухатися прямолінійно й рівномірно тіло може й без дії сили, а криволінійний рух, швидкість якого постійно змінюється за напрямком, без дії сили неможливий.

Напрямок прискорення завжди збігається з напрямком сили. Швидкість може збігатися за напрямком із силою (наприклад, у вільному падінні), може бути напрямлена протилежно (наприклад, при русі тіла, кинутого вертикально вгору), а може бути й перпендикулярною до напрямку сили (наприклад, під час руху по колу).

Закони Ньютона дають змогу *розв'язати основну задачу механіки*, оскільки якщо відомі сили, прикладені до тіла, можна визначити його прискорення в будь-який момент часу, у будь-якій точці траєкторії. І навпаки, якщо відоме положення тіла в будь-який момент часу, то закони Ньютона дають змогу з'ясувати, які сили діють на нього.



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. Чи є відмінність між дією та протидією?
2. Чи зрівноважують одна одну сили, що виникають унаслідок взаємодії тіл?
3. Наведіть приклади, що підтверджують третій закон Ньютона.
4. Чим зумовлені межі застосування законів Ньютона?



Я вмію досліджувати й експериментувати

1. Покладіть порожню пляшку на стіл. Навпроти її шийки розмістіть невеликий шматок пробки. Спробуйте задути пробку всередину пляшки. Поясніть, чому пробка полетить не в пляшку, а навпаки — від пляшки.
2. Візьміть два шматки пластиліну. Вдарте одним шматком по іншому. Поясніть, чому шматки пластиліну при цьому злипаються.



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 25

1. Роз'ясніть відомий парадокс «кінь і віз», який полягає в тому, що кінь тягне воза з деякою силою, проте відповідно до третього закону Ньютона й віз діє на коня з такою самою, але протилежно спрямованою силою. Здавалося б, віз і кінь повинні при цьому рухатися в протилежних напрямках. Чому ж коню вдається тягти віз за собою?
2. Два хлопчики, маси яких 40 і 50 кг, стоять на ковзанах на льоду. Перший хлопчик відштовхується від другого із силою 10 Н. Яке прискорення дістають хлопчики?

§48

Закон всесвітнього тяжіння

Гравітаційна взаємодія. Ми знаємо, що планети, зокрема Земля, обертаються навколо Сонця. Сонце притягує планети. Земля притягує Місяць, утримуючи його на орбіті. Від чого залежить сила взаємного притягання між небесними тілами? Чи тільки небесні тіла можуть взаємодіяти?

До XVII ст. вчені вважали, що тільки Земля має особливу властивість притягувати до себе всі тіла,

Ви дізнаєтесь

- Чому Місяць не падає на Землю

Пригадайте

- Що таке сила тяжіння

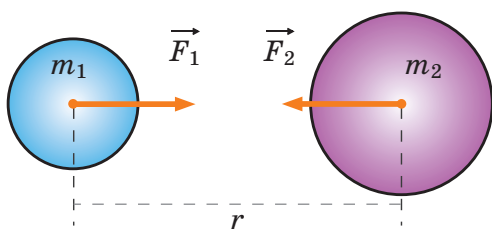
що перебувають поблизу її поверхні. У 1667 р. Ньютон висловив дивне для тих часів твердження, що між усіма тілами діють сили взаємного притягання. Це припущення було дивним тому, що в повсякденному житті люди не помічали, що предмети, які їх оточують, притягаються один до одного. Аналізуючи наявні на той час результати астрономічних спостережень, а саме, що: 1) усі тіла падають на землю; 2) прискорення, з яким тіла падають на землю, однакове для всіх тіл; 3) Місяць обертається навколо Землі майже по коловій орбіті з періодом обертання 27,3 доби; 4) радіус орбіти Місяця приблизно дорівнює 60 радіусам Землі, і застосувавши сформульовані ним закони до руху Місяця навколо Землі, І. Ньютон у 1667 р. встановив закон всесвітнього тяжіння.

Закон всесвітнього тяжіння: два тіла, які можна розглядати як матеріальні точки, притягуються одне до одного із силою, прямо пропорційною добутку їхніх мас та обернено пропорційною квадрату відстані між ними:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Коефіцієнт пропорційності G називають гравітаційною сталою. Гравітаційну сталу G було визначено експериментальним шляхом. Уперше це зробив англійський учений Генрі Кавендіш за допомогою крутильного динамометра (крутильних терезів). У СІ гравітаційна стала має значення $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$.

Отже, два тіла масою 1 кг кожне, центри яких розміщені на відстані 1 м один від одного, взаємно притягаються гравітаційною силою, що дорівнює $6,67 \cdot 10^{-11}$ Н.



Мал. 242. До умов виконання закону всесвітнього тяжіння

У формулюванні цього закону вказано, що «тіла» треба розглядати як матеріальні точки. Це означає, що закон справедливий лише тоді, коли їхні геометричні розміри малі в порівнянні з відстанню між ними, і їх можна вважати матеріальними точками. Разом з тим закон справедливий і для великих однорідних куль на невеликих відстанях, якщо можна вважати масу куль зосередженою в їхніх центрах (мал. 242).

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. У чому полягає закон всесвітнього тяжіння? Який фізичний зміст гравітаційної сталої? Що слід розуміти під r у формулі закону всесвітнього тяжіння при розрахунку сили гравітаційної взаємодії двох тіл?

2. Для яких тіл справедливий закон всесвітнього тяжіння?
3. Чи притягується до Місяця людина, що стоїть на Землі? До чого вона притягується сильніше: до Місяця чи до Землі? Чи притягується Місяць до цієї людини?



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 26

1. З якою силою притягуються одна до одної дві книги масою 0,2 кг кожна, що перебувають на відстані 1 м одна від одної?
2. Визначте силу гравітаційної взаємодії Землі й Місяця, якщо маса Землі становить $5,98 \cdot 10^{24}$ кг, маса Місяця $7,35 \cdot 10^{22}$ кг, а середня відстань між ними дорівнює $3,84 \cdot 10^8$ м.
3. У скільки разів зменшується сила притягання космічної ракети до Землі під час віддалення від її поверхні на відстань, що дорівнює радіусу Землі? П'ятьом радіусам Землі?
4. Середня відстань між центрами Землі й Місяця дорівнює 60 земним радіусам, а маса Місяця — у 81 раз менша від маси Землі. У якій точці на прямій, що з'єднує їхні центри, тіло притягатиметься до Землі й до Місяця з однаковими силами?

§49

Рух тіла під дією сили тяжіння. Прискорення вільного падіння

Вільне падіння. Чудовим прикладом прямолінійного рівноприскореного руху, що спостерігається у природі, є *вільне падіння тіл* (мал. 243).

Рух тіла під дією земного тяжіння, за умови, що опір повітря незначний і на тіло не діють інші сили, називають **вільним падінням**.

Тривалий час вважали, що тілам різної маси Земля надає різного прискорення, і тому вони падають на неї з різною швидкістю: важчі — швид-

Ви дізнаєтесь

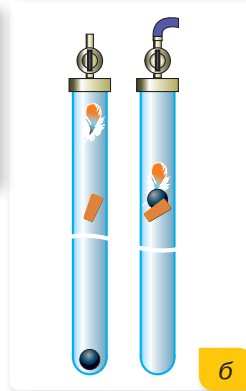
- Чому всі тіла падають на землю з однаковим прискоренням

Пригадайте

- Другий закон Ньютона



Мал. 243. Вільне падіння тіл



Мал. 244. Вивчення вільного падіння:
а) дослід Галілея;
б) дослід Ньютона

ше, легші — повільніше. У цьому начебто перекопував життєвий досвід: легка пір'їна, що падає в повітрі з однакової висоти разом із свинцевою кулькою, досягала землі пізніше, ніж кулька. Цей, на перший погляд, очевидний факт змушував багатьох людей спотворено уявляти перебіг явища вільного падіння тіл.

Перші досліди з дослідження вільного падіння провів Галілео Галілей, кидаючи кулю й гарматне ядро з вежі в м. Піза (мал. 244, а). Подальше вивчення вільного падіння здійснювалося різними способами й за допомогою різних експериментальних установок. Так, Ісаак Ньютон використовував велику скляну трубку, з якої можна було викачати повітря, і спостерігав, що пір'їна і сталева кулька у вакуумі падають одночасно (мал. 244, б).

Прискорення вільного падіння. Таким чином, експериментально встановлено, що *прискорення вільного падіння тіл не залежить від маси тіл і є сталою величиною*. Після численних вимірювань було встановлено його середнє значення $g = 9,81 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$. Вектор прискорення вільного падіння завжди напрямлений вертикально вниз.

Значення прискорення вільного падіння можна обчислити і з таких міркувань. Згідно із законом всесвітнього тяжіння модуль сили тяжіння, яка діє на будь-яке тіло масою m поблизу Землі (на відстані h від її поверхні), можна обчислити за формулою: $F = G \frac{M_3 m}{(R_3 + h)^2}$.

Якщо на тіло масою m діє тільки сила тяжіння, то це тіло вільно падає, рухаючись із прискоренням (у цьому випадку із прискоренням вільного падіння). Згідно з другим законом Ньютона $\vec{F} = m\vec{g}$.

Прирівнявши дві формули $F = G \frac{M_3 m}{(R_3 + h)^2}$ і $F = mg$, отримаємо формулу

для обчислення *прискорення вільного падіння*:

$$g = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}.$$

Його значення трохи відрізняється на екваторі й на полюсах Землі. Ця різниця виникає тому, що радіус Землі (найкоротша відстань від по-

верхні до центра Землі) різний на полюсах і на екваторі: $g_e = 9,780 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$; $g_n = 9,832 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$. У приблизних розрахунках його зазвичай приймають таким, що дорівнює 9,81, або 9,8, або $10 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$.

У системі відліку, пов'язаній із Землею, на будь-яке тіло діє сила тяжіння, що напрямлена до центра Землі й дорівнює добутку його маси m на прискорення вільного падіння g :

$$\vec{F}_{\text{тяж}} = m\vec{g}.$$

Рівняння руху тіла у вертикальному напрямку. Рух тіла у вертикальному напрямку описується рівняннями рівноприскореного руху:

$$h_y = v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}, \quad v_y = v_{0y} + g_y t,$$

де h_y — переміщення по вертикалі (висота); v_{0y}, v_y — швидкість на початку та в кінці руху; g — прискорення вільного падіння.

Рух тіла, кинутого вертикально вгору до максимальної висоти підйому, є рівносповільненим, потім вниз — рівноприскореним, без початкової швидкості. Час підйому дорівнює часу падіння.

З певної висоти тіло можуть кидати вниз, надаючи йому деякої початкової швидкості, а можуть відпускати — тоді тіло падає без початкової швидкості (вільно падаюче тіло).



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. Що таке вільне падіння тіл? Який це рух? Чому?
2. У чому полягає суть досліду Г. Галілея?
3. Доведіть, що час підйому тіла, кинутого вертикально вгору, дорівнює часу його падіння.
4. Доведіть, що тіло, яке кидають вертикально вгору, і яке згодом падатиме вниз, матиме в будь-якій точці траєкторії швидкості, рівні за модулем і протилежні за напрямком.



Вчимося розв'язувати задачі

Задача 1. Обчисліть масу Землі, якщо відомо, що її радіус дорівнює

$$R = 6,37 \cdot 10^6 \text{ м.}$$

Дано:

$$R = 6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{М}^2}{\text{кг}^2}$$

$$M_3 - ?$$

Розв'язання:

Усі тіла притягуються до Землі. Силу притягання можна визначити двома способами:

$$F = mg \text{ та } F = G \frac{mM_3}{R_3^2}.$$

Прирівнявши формули, отримуємо: $mg = G \frac{mM_3}{R_3^2}$
або $g = G \frac{M_3}{R_3^2}$, звідки $M_3 = \frac{gR_3^2}{G}$.

$$\text{Обчислення: } M_3 = \frac{9,81 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \cdot 6,37^2 \cdot 10^{12} \text{М}^2}{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{М}^2}{\text{кг}^2}} \approx 5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг.}$$

Відповідь: $M_3 \approx 5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг.}$

Задача 2. Вільно падаюче тіло пройшло останні 10 м за 0,25 с. Визначте, з якої висоти падало тіло та його швидкість у момент приземлення.

Розв'язання:

Зробимо схематичний малюнок до задачі (мал. 245). Вісь Y спрямуємо в напрямку руху.

Оскільки тіло вільно падає, то $v_0 = 0$ і рівняння руху має вигляд

$$h = \frac{gt^2}{2}. \quad (1)$$

h — уся висота, з якої падає тіло, Δh — останні 10 м; тоді $h_1 = h - \Delta h$. (2)

Відповідно, t — весь час падіння, $\Delta t = 0,25 \text{ с}$, тоді $t_1 = t - \Delta t$. (3)

Напишемо рівняння руху для вільно падаючого тіла на ділянці h_1 :

$$h_1 = \frac{gt_1^2}{2}. \quad (4)$$

Підставимо рівняння (1) та (4) у вираз (2): $\frac{gt^2}{2} = \frac{gt_1^2}{2} - \Delta h$. (5)

Враховуючи вираз (3), маємо: $\frac{g(t - \Delta t)^2}{2} = \frac{gt^2}{2} - \Delta h$.

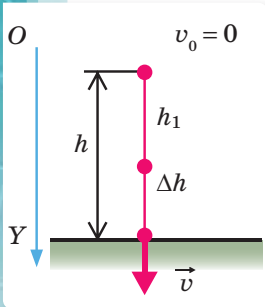
Визначимо весь час руху:

$$\begin{aligned} \frac{g(t^2 - 2t\Delta t + \Delta t^2)}{2} &= \frac{gt^2}{2} - \Delta h; & \frac{gt^2}{2} - gt\Delta t + \frac{g\Delta t^2}{2} &= \frac{gt^2}{2} - \Delta h; \\ -gt\Delta t + \frac{g\Delta t^2}{2} &= -\Delta h; & gt\Delta t &= \frac{g\Delta t^2}{2} + \Delta h; \\ t &= \frac{\Delta t}{2} + \frac{\Delta h}{g\Delta t}; & t &= \frac{0,25 \text{ с}}{2} + \frac{10 \text{ м}}{9,8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \cdot 0,25 \text{ с}} = 4,2 \text{ с.} \end{aligned}$$

Підставляючи час падіння у формулу (1), визначаємо висоту, з якої падає тіло:

$$h = \frac{9,8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \cdot (4,2)^2 \text{ с}^2}{2} = 86 \text{ м.}$$

Швидкість у момент приземлення можна визначити за формулами:



Мал. 245. Вільне падіння тіла

$v = v_0 + gt$ або $2gh = v^2 - v_0^2$, враховуючи, що $v_0 = 0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $v = \sqrt{2gh}$ або $v = gt$.

Тоді $v = 41 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Відповідь: $v = 41 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 27

1. Яке прискорення вільного падіння на висоті, що дорівнює половині радіуса Землі?
2. Тіло вільно падає зі стану спокою з висоти 39,2 м. За який час тіло пройде: а) перший метр свого шляху; б) останній метр свого шляху? Чому дорівнює середня швидкість на другій половині шляху?
3. Тіло, яке вільно падає без початкової швидкості, за останню секунду руху проходить $\frac{2}{3}$ усього шляху. Визначте шлях, пройдений тілом під час падіння.
4. Тіло вільно падає з висоти 80 м. Яке його переміщення за останню секунду падіння?
5. Стріла, випущена з лука вертикально вгору, впала на землю через 6 с. Яка початкова швидкість стріли й максимальна висота її підйому?
6. Яка глибина криниці, якщо звук плескоту чути через 4,5 с після початку падіння каменя?
7. Звук пострілу й куля одночасно досягають висоти 680 м. Постріл здійснено вертикально вгору. Яка початкова швидкість руху кулі? Швидкість поширення звуку в повітрі 340 м/с. Опором рухові кулі знехтувати.

§50

Рух тіла, кинутого горизонтально та під кутом до горизонту

Рух тіла, кинутого під кутом α до горизонту. Рух тіла, кинутого під кутом α до горизонту, можна розглядати як результат додавання двох незалежних рухів: *рівномірного прямолінійного вздовж осі X і рівнозмінного вздовж осі Y.*

З цього випливає, що проекція швидкості v_x (мал. 246, с. 222) весь час залишається постійною, $v_{0x} = v_x = \text{const}$. Координата x змінюється згідно із законом рівномірного руху $x = x_0 + v_{0x}t$. Траєкторією такого руху є парабола.

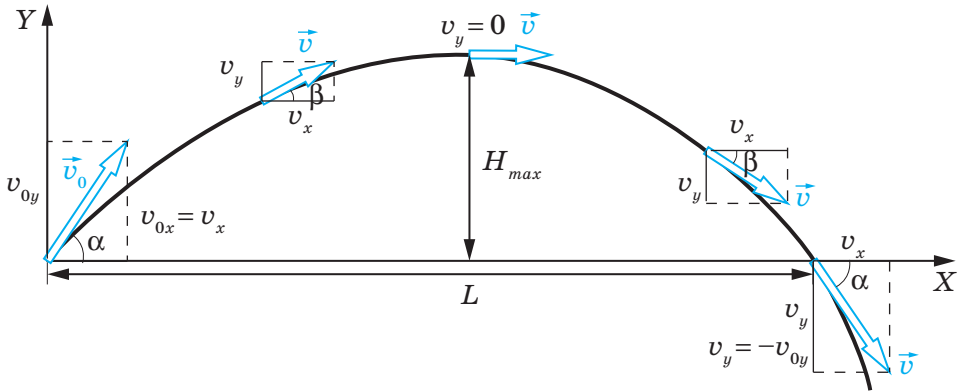
Уздовж осі Y рух є рівноприскореним, оскільки вектор прискорення вільного падіння \vec{g} на невеликих висотах є величиною сталою,

Ви дізнаєтесь

- Як рухаються тіла, кинуті горизонтально з деякої висоти та під кутом до горизонту

Пригадайте

- Що таке прискорення вільного падіння



Мал. 246. Рух тіла, кинутого під кутом α до горизонту

отже, згідно із законом рівноприскореного руху, $y = y_0 + v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}$.

У вибраній нами системі координат (мал. 246) $x_0 = 0$; $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$; $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$.

Таким чином, закон руху для тіла, кинутого під кутом α до горизонту, має вигляд: $x = (v_0 \cos \alpha)t$ і $y = (v_0 \sin \alpha)t - \frac{gt^2}{2}$. Розв'язуючи дану систему рівнянь, можна отримати рівняння траєкторії такого руху.

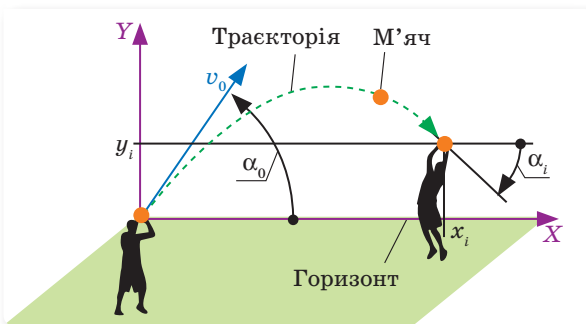
Унаслідок незалежності рухів уздовж координатних осей підйом тіла по вертикалі визначається лише проекцією початкової швидкості v_{0y} на вісь Y . Звідси випливає, що, якщо вертикальна проекція швидкості тіла, кинутого під кутом α до горизонту така сама, як і початкова швидкість тіла, кинутого вертикально вгору, ці тіла будуть рухатися синхронно. Тому максимальну висоту підйому та час підйому можна визначити з відомих вам формул, що описують рух тіла, кинутого вертикально вгору.

Для тіла, кинутого вертикально вгору, $v_y = v_{0y} - gt$. Враховуючи, що на максимальній висоті підйому $v_y = 0$, визначимо час підйому $t_{\pi} = \frac{v_{0y}}{g}$. З урахуванням, що для тіла, кинутого під кутом до горизонту, $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$, час підйому буде $t_{\pi} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$.

Оскільки парабола симетрична, час підйому дорівнює часу падіння, і загальний час польоту $t = 2t_{\pi} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$.



Мал. 247. Форму траєкторії руху тіла, кинутого під кутом до горизонту відтворює струмінь води



Мал. 248. Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту з деякої висоти

$$\text{Максимальна висота підйому } H_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}.$$

$$\text{Дальність польоту } L \text{ у горизонтальному напрямку } L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

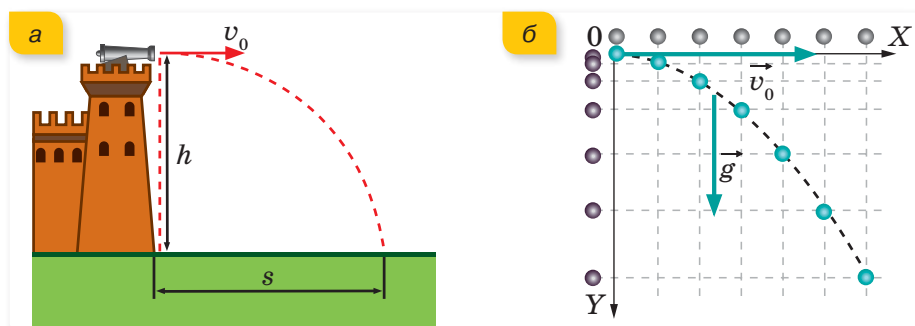
Як видно з формули, дальність польоту L буде найбільшою, коли $\sin 2\alpha = 1$, тобто для кута $\alpha = 45^\circ$.

За наявності опору повітря траєкторія польоту тіла, кинутого під кутом до горизонту, не буде правильною параболою. Дальність польоту при цьому буде меншою від розрахованої за цією формулою.

Форму траєкторії руху тіла, кинутого під кутом до горизонту, відтворює струмінь води, спрямований під кутом до горизонту (мал. 247).

Під кутом до горизонту тіло можуть кидати безпосередньо із землі або з деякої висоти над землею (мал. 248).

Рух тіла, кинутого горизонтально з деякої висоти. З певної висоти тіло можуть кидати і в горизонтальному напрямку. Розглянемо цей випадок детальніше.



Мал. 249. Дослідження руху тіла, кинутого горизонтально з висоти h

Нехай з вежі висотою h кидають деяке тіло з початковою швидкістю v_0 , спрямованою горизонтально (мал. 249, а, с. 223). Вважаємо, що сила тертя тіла об повітря дуже мала й нею можна знехтувати. У цьому разі рух тіла відбуватиметься тільки під дією сили тяжіння. Досвід свідчить, що тіло рухається по кривій лінії й через деякий час падає на землю. Установимо характер цієї кривої. Тобто дослідимо траєкторію руху.

Для цього визначимо залежність відстані h , яку проходить тіло по вертикалі, від віддалі s , що проходить тіло по горизонталі (мал. 249, б). Рух тіла по вертикалі вниз буде рівноприскореним (без початкової швидкості), а пройдена за деякий час t відстань — пропорційна квадрату цього часу: $h = \frac{gt^2}{2}$.

У горизонтальному напрямку тіло рухається по інерції зі сталою швидкістю v_0 і проходить за той самий час t віддаль $s = v_0 t$, звідки: $t = \frac{s}{v_0}$.

Підставивши знайдене значення часу t у формулу $h = \frac{gt^2}{2}$, одержимо:

$$h = \frac{gt^2}{2} = \frac{gs^2}{2v_0^2}.$$

Бачимо, що цей вираз містить величини, які мають фіксовані значення (g, v_0), тому можна позначити їх як деякий сталий коефіцієнт $k = \frac{g}{2v_0^2}$.

Із курсу математики ви знаєте, що графіком залежності виду $h = ks^2$ є парабола. Отже, траєкторія тіла, кинутого горизонтально, є гілкою параболою, вершина якої міститься в точці кидання.

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. Що таке вільне падіння тіл? Який це рух? Чому?
2. У чому полягає суть досліду Г. Галілея?
3. Доведіть, що час підйому тіла, кинутого вертикально вгору, дорівнює часу його падіння.
4. Доведіть, що тіло, яке кидають вертикально вгору і яке згодом падатиме вниз, матиме в будь-якій точці траєкторії швидкості, рівні за модулем і протилежні за напрямком.
5. Результатом яких двох незалежних рухів є рух тіла, кинутого горизонтально?



Вчимося розв'язувати задачі

Задача. Літак летить горизонтально зі швидкістю $720 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ на висоті 245 м. Коли він пролітає над деякою точкою поверхні Землі, з нього скидають вантаж. На якій відстані від цієї точки вантаж упаде на Землю? Опором повітря знехтуйте.

Дано:

$$v_0 = 720 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 200 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$h = 245 \text{ м}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$L - ?$$

Розв'язання:

Вантаж вільно падає й одночасно рухається за інерцією з горизонтальною початковою швидкістю v_0 (мал. 249).

Запишемо рівняння руху відносно координатних осей.

Відносно осі X рух рівномірний, отже $L = v_0 t$.

Відносно осі Y — рівносповільнений без початкової швидкості:

$$y = h - \frac{gt^2}{2}. \text{ У момент падіння вантажу на землю } y = 0, \text{ тому } h = \frac{gt^2}{2}.$$

Визначаємо час падіння: $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$. Тоді дальність польоту: $L = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$.

$$\text{Обчислення: } L = 200 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 245 \text{ м}}{9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}} = 1414,2 \text{ м} \approx 1,4 \text{ км}.$$

Відповідь: $L \approx 1,4 \text{ км}$.



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 28

1. З вежі заввишки 20 м було кинуте тіло в горизонтальному напрямку. Скільки часу летіло тіло до землі та з якою швидкістю його було кинуте, якщо воно упало на відстані 6 м від фундаменту вежі?
2. Дальність польоту тіла, кинутого в горизонтальному напрямку зі швидкістю $v = 10 \text{ м/с}$, дорівнює висоті кидання. З якої висоти кинуте тіло?
3. Під кутом 60° до горизонту кидають тіло з початковою швидкістю 50 м/с . Визначте переміщення тіла від точки кидання через 5 с.
4. На яку відстань викидається струмина води з брандспойта, встановленого під кутом 30° до горизонту, якщо початкова швидкість струмини води 12 м/с ? Урахувати, що опір повітря зменшує дальність викидання струмини порівняно з розрахованою на 20 %.

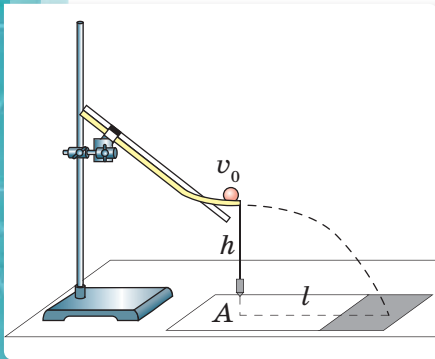


ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Дослідження руху тіла, кинутого горизонтально

Мета роботи: дослідити параметри руху тіла, кинутого горизонтально.

Прилади та матеріали: лінійка з міліметровими поділками, штатив з муфтою й лапкою, металевий жолоб для пускання кульок, кулька, папір, висок, клейка стрічка (скотч), копіювальний папір.



Мал. 250

Вказівки щодо виконання роботи

1. За допомогою штатива закріпіть жолоб. Загнутий кінець жолоба має бути розташований горизонтально на висоті $h = 3$ см від поверхні стола (мал. 250).

2. Зафіксуйте клейкою стрічкою на столі довгу смужку паперу. У місці можливого падіння кульки покладіть копіювальний папір. За допомогою виски визначити точку А, від якої виміряти дальність польоту l .

3. Змінюючи висоту жолоба ($h_2 = 12$ см, $h_3 = 27$ см, $h_4 = 48$ см), виміряйте відповідні дальності польоту l_2, l_3, l_4 . У кожному випадку дослід повторіть п'ять разів, пускаючи кульку з того самого місця жолоба й вимірюючи щоразу дальність польоту l_1 . Обчисліть середнє значення дальності польоту для кожного випадку. Результати вимірювань й обчислень запишіть в таблицю.

Номер досліду	Фіксована висота	Дальність польоту l , см				Середня дальність польоту, l_c , см
1	$h_1 = 3$ см					
2	$h_2 = 12$ см					
3	$h_3 = 27$ см					
4	$h_4 = 48$ см					

4. Доведіть, що під час руху тіла в полі земного тяжіння виконується співвідношення $l_1 : l_2 : l_3 : l_4 = 1 : 2 : 3 : 4$.

5. Використовуючи дані досліду, в якому кулька летіла з висоти $h_4 = 48$ см, обчисліть середнє значення початкової швидкості за формулою $v_{0c} = l_c \sqrt{\frac{g}{2h}}$.

$$v_{0c} = l_c \sqrt{\frac{g}{2h}}$$

6. Обчисліть відносну похибку вимірювання швидкості за формулою $\varepsilon_v = \varepsilon_l + \frac{1}{2} \varepsilon_g + \frac{1}{2} \varepsilon_h = \frac{\Delta l}{l} + \frac{1}{2} \frac{\Delta g}{g} + \frac{1}{2} \frac{\Delta h}{h}$, де $\Delta l = \Delta h = 1$ мм.

$$\varepsilon_v = \varepsilon_l + \frac{1}{2} \varepsilon_g + \frac{1}{2} \varepsilon_h = \frac{\Delta l}{l} + \frac{1}{2} \frac{\Delta g}{g} + \frac{1}{2} \frac{\Delta h}{h}, \text{ де } \Delta l = \Delta h = 1 \text{ мм.}$$

$$\Delta g = 0,02 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \text{ при } g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

7. Обчисліть абсолютну похибку вимірювання швидкості $\Delta v_0 = v_{0c} \cdot \varepsilon_v$.

8. Результат вимірювання запишіть у вигляді $v_0 = (v_{0c} \pm \Delta v) \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

§ 51

Рух тіла під дією кількох сил

У попередніх задачах розглядалися ситуації, коли тілу надає прискорення одразу кілька діючих сил. Рухів, які відбуваються під дією лише однієї сили, у земних умовах практично немає. Розглядаючи механічний рух, ми в першу чергу маємо справу із силами тяжіння, пружності й тертя.

Навчившись визначати ці сили і знаючи закони Ньютона, можна розв'язати основну задачу механіки: за відомими силами визначити прискорення тіла, за прискоренням — швидкість і, нарешті, положення тіла в будь-який наступний момент часу.

Пригадаємо загальні ознаки сил, що діють у механічних процесах.

Сила всесвітнього тяжіння — це сила, з якою притягуються два будь-які тіла у Всесвіті. Вона прямо пропорційна добутку мас цих тіл й обернено пропорційна квадрату відстані між ними. Наприклад, Сонце притягує Землю, і, в той же час, Земля притягує Сонце. Сила всесвітнього тяжіння має гравітаційну природу. Різновидом гравітаційних сил є **сила тяжіння**, що діє на тіло з боку Землі й надає йому прискорення вільного падіння.

Сили пружності — це сили, що виникають під час деформації тіла. Вони є наслідком міжмолекулярної взаємодії й мають електромагнітну природу. Вектор сили пружності спрямований протилежно переміщенню частин тіла. Прикладом сили пружності є сила, що протидіє стисканню пружини. Різновидом сил пружності є **сила реакції опори** \vec{N} (**сила натягу підвісу** \vec{T}) — сили, що діють на тіло з боку опори або підвісу. Важливою особливістю сил реакції опори є те, що вони напрямлені перпендикулярно до поверхні дотику тіл.

Сили тертя — це сили, що виникають під час відносного руху контактуючих тіл і протидіють цьому руху. Вони є наслідком міжмолекулярної взаємодії й мають електромагнітну природу. Сила тертя спрямована в бік протидії відносного переміщення (відносної швидкості) поверхонь двох тіл. Прикладом сили тертя є сила, що виникає під час ковзання санчат по снігу, або між підошвою ніг і землею. Сила тертя пропорційна силі реакції опори: $F_{\text{тер}} = \mu N$. Це співвідношення не є векторним, оскільки дві сили перпендикулярні між собою.

Задача 1. Велосипедист, який рухається зі швидкістю $36 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, побачив

попереду приблизно в 10 м від себе перешкоду й різко загальмував. Чи встигне він зупинитись до перешкоди, якщо: а) дорога суха й коефіцієнт тертя 0,7; б) дорога слизька й коефіцієнт тертя 0,4; в) швидкість його руху буде вдвічі більшою?

Ви дізнаєтесь

- Як досліджувати рух тіла, на яке одночасно діє кілька сил

Пригадайте

- Види сил, які проявляються під час механічної взаємодії

Дано:

$$v_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$s = 10 \text{ м}$$

$$\text{а) } \mu = 0,7$$

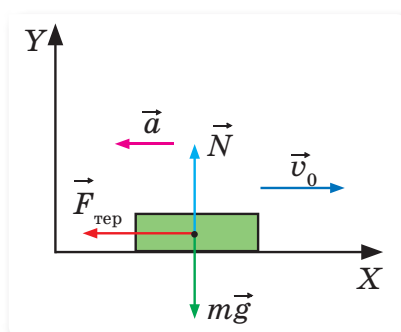
$$\text{б) } \mu = 0,4$$

$$\text{в) } v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$s = ?$$

Розв'язання:

Розглядатимемо рух велосипедиста з моменту гальмування (мал. 251).



Мал. 251. Рух тіла під дією сили тертя

Вісь X спрямовуємо в напрямку руху. Сила тертя ковзання та зумовлене нею прискорення напрямлені в протилежному напрямку.

За другим законом Ньютона $\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тер}} = m\vec{a}$.

У проєкціях на координатні осі:

$$\text{Вісь } X: -F_{\text{тер}} = -ma; \text{ або } F_{\text{тер}} = ma. \quad (1)$$

$$\text{Вісь } Y: N - mg = 0 \text{ або } N = mg. \quad (2)$$

Сила тертя ковзання визначається за формулою $F_{\text{тер}} = \mu N$, враховуючи формулу (2), можемо записати, що $F_{\text{тер}} = \mu mg$. Підставляючи цю формулу в рівність (1), отримуємо: $\mu mg = ma$. (3)

Згідно з формулами кінематики: $2a_x s_x = v_x^2 - v_{0x}^2$. Оскільки рух рівносповільнений і в момент зупинки кінцева швидкість $v = 0$, то з урахуванням знаків проєкцій $-2as = -v_0^2$, звідки $a = \frac{v_0^2}{2s}$.

Підставляємо цей вираз у формулу (3): $\mu mg = m \frac{v_0^2}{2s}$, звідки $s = \frac{v_0^2}{2\mu g}$.

Як бачимо, довжина гальмівного шляху не залежить від маси рухомого тіла, а визначається його початковою швидкістю та коефіцієнтом тертя.

При $\mu = 0,7$: $s = \frac{100 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2 \cdot 0,7 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \approx 7 \text{ м}$ — велосипедист встигає зупинитись до перешкоди.

При $\mu = 0,4$: $s = \frac{100 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2 \cdot 0,4 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \approx 13 \text{ м}$ — гальмівний шлях більший за відстань до перешкоди.

При $v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ та $\mu = 0,7$ $s = \frac{400 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2 \cdot 0,7 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \approx 29 \text{ м}$ — гальмівний шлях збільшується в 4 рази.

Відповідь: а) зупиниться; б) і в) не зупиниться до перешкоди.

Задача 2. По похилій площині з кутом нахилу 30° ковзає дерев'яний брусок масою 300 г. Визначте прискорення бруска, якщо коефіцієнт тертя ковзання 0,33.

Дано:

$$m = 0,3 \text{ кг}$$

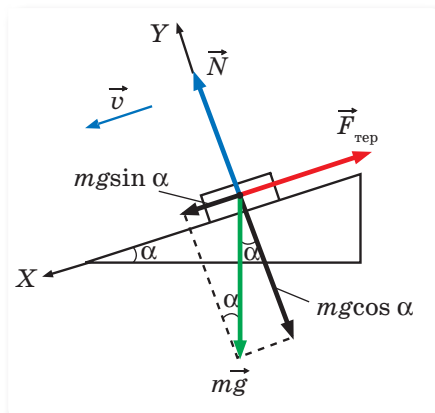
$$\alpha = 30^\circ$$

$$\mu = 0,33$$

$$a = ?$$

Розв'язання:

На брусок діють сили (мал. 252): \vec{N} — сила реакції опори (направлена перпендикулярно до поверхні), $m\vec{g}$ — сила тяжіння (направлена вертикально вниз), $\vec{F}_{\text{тер}}$ — сила тертя ковзання (направлена проти руху бруска вздовж поверхні).



Мал. 252. Рух тіла по похилій площині

Рівнодійна цих сил надає бруску прискорення: $\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тер}} = m\vec{a}$.

Спрямуємо вісь X у напрямку руху бруска (уздовж похилої площини). Брусок може ковзати вниз рівноприскорено, і напрямком вектора прискорення збігатиметься з напрямком осі X , а може ковзати сповільнено — тоді вектор прискорення напрямлений у протилежному напрямку відносно осі X . Припустимо, що брусок ковзає рівноприскорено. Якщо отримане нами значення прискорення виявиться додатним, ми не помилились у виборі, а якщо від'ємним — то брусок ковзає рівносповільнено.

Запишемо проекції сил на координатні осі.

$$\text{Вісь } X: mg \sin \alpha - F_{\text{тер}} = ma;$$

$$\text{Вісь } Y: N - mg \cos \alpha = 0, \text{ тобто } N = mg \cos \alpha.$$

За означенням сила тертя визначається як $F_{\text{тер}} = \mu N$. Оскільки на похилій площині сила реакції опори, що діє на брусок, $N = mg \cos \alpha$, то сила тертя відповідно: $F_{\text{тер}} = \mu mg \cos \alpha$.

Отже, закон руху бруска вздовж осі X має вигляд:

$$mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha = ma.$$

Звідки: $a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$.

$$a = 9,8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} (0,5 - 0,33 \cdot 0,866) = 2 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}.$$

Можна зробити такий висновок: прискорення тіла, що ковзає по похилій площині, не залежить від його маси, а визначається кутом нахилу похилої площини та коефіцієнтом тертя між ним і поверхнею:
 якщо $\sin \alpha > \mu \cos \alpha$ — тіло ковзає вниз рівноприскорено;
 якщо $\sin \alpha < \mu \cos \alpha$ — тіло ковзає вниз рівносповільнено;
 якщо $\sin \alpha = \mu \cos \alpha$ — тіло ковзає вниз рівномірно або взагалі не рухається.

Відповідь: $a = 2 \frac{M}{c^2}$.

Задача 3. Тіло масою 3 кг падає в повітрі з прискоренням $8 \frac{M}{c^2}$. Визначте силу опору повітря.

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

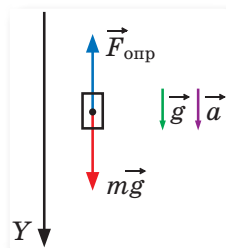
$$a = 8 \frac{M}{c^2}$$

$$g = 9,8 \frac{M}{c^2}$$

$$F_{\text{опр}} = ?$$

Розв'язання:

У задачах на вільне падіння тіл, як правило, нехтують опором повітря і вважають, що тіла падають із прискоренням $g = 9,8 \frac{M}{c^2}$. У цій задачі на падаюче тіло діє сила тяжіння та сила опору повітря (мал. 253).



Мал. 253

За другим законом Ньютона: $m\vec{g} + \vec{F}_{\text{опр}} = m\vec{a}$.

У проекції на вісь Y: $mg - F_{\text{опр}} = ma$.

$$F_{\text{опр}} = m(g - a).$$

Підставляємо числові дані: $F_{\text{опр}} = 3 \text{ кг} \left(9,8 \frac{M}{c^2} - 8 \frac{M}{c^2} \right) = 5,4 \text{ Н}$.

Відповідь: $F_{\text{опр}} = 5,4 \text{ Н}$.



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 29

1. Визначте й порівняйте сили, що діють на кульку в таких випадках: а) кулька лежить на горизонтальному столі; б) кульку штовхають рукою; в) кулька котиться по столу; г) кулька падає зі стола.
2. Обчисліть доцентрове прискорення¹ точок колеса автомобіля, які дотикаються до дороги, якщо автомобіль рухається зі швидкістю 72 км/год і при цьому обертова частота колеса становить 8 с^{-1} .
3. Потяг, маса якого 10 т, рушаючи з місця, на шляху 50 м набирає швидкість 10 м/с. Визначте коефіцієнт опору, якщо сила тяги дорівнює 14 кН.
4. Через який час після аварійного гальмування зупиниться автобус, що рухається зі швидкістю 12 м/с, якщо коефіцієнт тертя дорівнює 0,4?
5. На дерев'яній похилій площині розташовано дерев'яний брусок. Кут нахилу площини 28° . Яким має бути коефіцієнт тертя спокою, щоб брусок не ковзав вниз?

¹ Див. с. 245.

6. На похилій площині завдовжки 13 м і заввишки 5 м лежить вантаж, маса якого 26 кг. Коефіцієнт тертя дорівнює 0,5. Яку силу треба прикласти до вантажу вздовж площини, щоб підняти його? Щоб опустити вантаж по похилій площині? Рух вважайте рівномірним.
7. Хлопчик, маса якого 50 кг, спустився на санках з гірки і проїхав по горизонтальній дорозі до зупинки шлях 20 м за 10 с. Визначте силу тертя й коефіцієнт тертя.

§52

Імпульс. Закон збереження імпульсу

Імпульс тіла та імпульс сили. Важливими характеристиками руху тіла є його маса і швидкість, зміну якої характеризує прискорення. Тіла однієї й тієї самої маси, що мають різні швидкості, рухаються по-різному. Маленька піщинка, що з прискоренням вільного падіння осідає на руку, майже не відчутна. Ця сама піщинка, приведена в рух ураганом, досить відчутна.

Аналогічно по-різному рухаються й тіла, що мають однакові швидкості, але різні маси. Так, наприклад, легковий і вантажний автомобілі, що рухаються з однаковими швидкостями, матимуть різний гальмівний шлях (мал. 254).

Такі принципові відмінності в русі тіл зумовлені наявністю, крім маси та швидкості, ще однієї важливої характеристики руху, яку у фізиці називають *імпульсом тіла*. Термін «імпульс» походить від латинського *impulsus*, що означає «поштовх».

Запишемо другий закон Ньютона $\vec{F} = m\vec{a}$ в іншому вигляді. За ви-

значенням прискорення $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$, де $\vec{v} - \vec{v}_0$ — зміна швидкості; t — час,

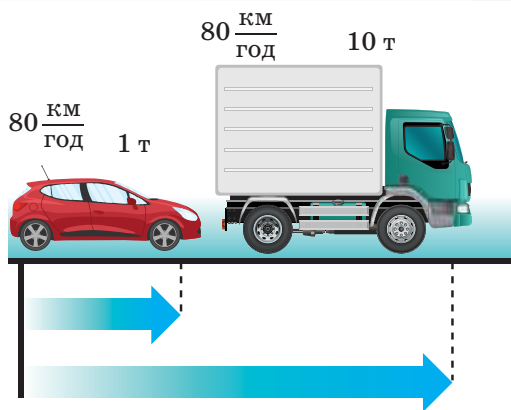
за який ця зміна відбувається, а отже, і час дії сили. Підставимо цей вираз у формулу закону й отримаємо $\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0$. Добуток $m\vec{v}$ називається *імпульсом тіла*, або кількістю руху \vec{p} (так називав цю величину Ньютон), а добуток $\vec{F}t$ — *імпульсом сили*.

Ви дізнаєтесь

- Чому не варто різко витягати моркву із землі

Пригадайте

- Що таке замкнена (ізольована) система



Мал. 254. Легковий і вантажний автомобілі, що рухаються з однаковими швидкостями, матимуть різний гальмівний шлях

Імпульс тіла — це фізична величина, що характеризує механічний рух і дорівнює добутку маси тіла m на його швидкість \vec{v} ; $\vec{p} = m\vec{v}$.

Одиниця імпульсу тіла — $1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$, кілограм на метр за секунду.

Імпульсом сили називають добуток середнього значення сили F за певний інтервал часу та тривалості цього інтервалу t . Позначається $\vec{F}t$.

Одиниця імпульсу сили — ньютон-секунда, $[Ft] = 1 \text{ Н} \cdot \text{с}$.

Отже, через поняття імпульсу другий закон Ньютона записують так:

$$\vec{F}t = \vec{p} - \vec{p}_0 \text{ або } \vec{F}t = \Delta\vec{p}.$$

Саме в такому вигляді другий закон динаміки був сформульований самим Ньютоном.

Імпульс тіла та імпульс сили є векторними величинами. Вектор імпульсу напрямлений так само, як і вектор швидкості руху тіла, а вектор імпульсу сили — так, як вектор сили.

Як видно з формули $\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0$, імпульс сили — це фізична величина, яка одночасно враховує вплив модуля, напрямку та часу дії сили на зміну стану руху тіла. А це означає, що:

- одна й та сама сила протягом одного й того самого інтервалу часу викликає в будь-якого тіла однакову зміну імпульсу;
- одна й та сама сила, що діє протягом одного й того самого інтервалу часу викликає в тіл різної маси різну зміну швидкості;
- однакові наслідки взаємодії можуть бути отримані в разі, коли на тіло діє незначна сила, але протягом тривалого часу, і в разі, якщо велика сила діє короткочасно.

Останній висновок широко використовується і враховується в техніці та побуті. Так, правила роботи на баштових кранах забороняють піднімати великі вантажі ривком, оскільки для зміни імпульсу вантажу за дуже короткий час слід прикласти дуже велику силу, яка може перевищити міцність тросів. Так само пояснюється обривання гички буряка чи моркви, якщо спробувати різко смикнути їх. Для «пом'якшення удару» при гальмуванні на різних видах транспорту застосовують ресори та амортизатори — пристрої, за допомогою яких збільшується час гальмування й тим самим зменшується сила удару.

Закон збереження імпульсу. У природі всі тіла взаємодіють між собою. Проте взаємодія з деякими тілами настільки незначна, що її можна не враховувати. Для цього у фізиці використовують поняття *ізолюваної*, або *замкнутої, системи тіл*.

Замкнена (ізолювана) система — це система тіл, які взаємодіють лише між собою й не взаємодіють з тілами, що не входять до цієї системи.

Сили, з якими тіла взаємодіють усередині замкненої системи, називають внутрішніми. Тож можна стверджувати, що на замкнену систему не діють зовнішні сили.

Розглянемо замкнену систему (мал. 255), що містить два тіла масами m_1 та m_2 , які в початковий момент часу у вибраній інерціальній системі відліку мали швидкості \vec{v}_1 та \vec{v}_2 .

Через деякий час їхні швидкості внаслідок взаємодії змінилися до \vec{v}'_1 та \vec{v}'_2 . За третім законом Ньютона тіла взаємодіють із силами, рівними за модулем і протилежними за напрямком, $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$. Виразимо ці сили за другим законом Ньютона, записавши його через імпульси. $\vec{F}_{12} = m_1 \frac{\vec{v}'_1 - \vec{v}_1}{t}$, $\vec{F}_{21} = m_2 \frac{\vec{v}'_2 - \vec{v}_2}{t}$.

$$\text{Тоді } \frac{m_1 \vec{v}'_1 - m_1 \vec{v}_1}{t} = - \frac{m_2 \vec{v}'_2 - m_2 \vec{v}_2}{t}.$$

Якщо зібрати імпульси тіл до взаємодії по один бік рівності, а після взаємодії — по другий, то отримаємо вираз $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2$, який називається *законом збереження імпульсу*.

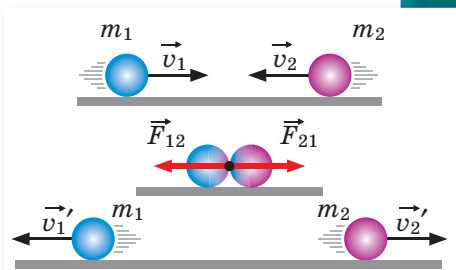
Геометрична сума імпульсів тіл, які утворюють замкнену систему, залишається сталою під час будь-яких рухів і взаємодій тіл системи.

Виконання закону збереження імпульсу ми показали на прикладі системи, що складається з двох взаємодіючих тіл. Закон виконується і для *ізольованої системи з довільною кількістю тіл*.

Зазначимо, що закон збереження імпульсу можна застосовувати і для неізольованих систем за умови, що сума імпульсів зовнішніх сил дорівнює нулю.

Ми отримали закон збереження імпульсу, виходячи із законів Ньютона, але слід наголосити, що закон збереження імпульсу не є наслідком законів Ньютона. Закон збереження імпульсу — це *самостійний фундаментальний закон природи*, а це означає, що він виконується для тіл макро- і мікросвіту. Згідно із цим законом, що б не відбулося в замкненій системі (співудари, вибухи, хімічні реакції тощо), імпульс системи тіл залишається незмінним. Це дає можливість аналізувати рух тіл замкненої системи навіть у тих випадках, коли внутрішні сили невідомі.

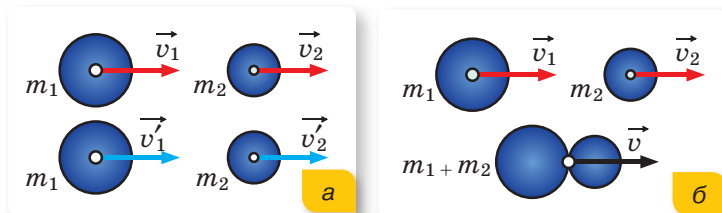
Пружна і непружна взаємодія. Одним із прикладів прояву закону збереження імпульсу є *удар*. Під ударом розуміють таку взаємодію тіл, яка здійснюється миттєво. Як правило, під час удару взаємодія відбувається через сили пружності, які виникають у тілах унаслідок їх деформації під час стискання. Якщо після удару розміри та форма взаємодіючих тіл повністю відновлюються, то такий удар називають *абсолютно пружним*.



Мал. 255. Взаємодія тіл у замкненій системі

У природі спостерігаються також взаємодії, які називаються *непружними*. У випадках абсолютно neprужного удару утворюється нове тіло, маса якого дорівнює сумі мас тіл, які взаємодіяли.

За малюнком 256 опишіть випадки пружної (а) і neprужної (б) взаємодій.



Мал. 256. Моделювання взаємодій: а — пружної; б — neprужної

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Що таке імпульс тіла та імпульс сили? Який між ними зв'язок?
2. Як залежить зміна імпульсу тіла від значення сили й часу її дії?
3. Як записується другий закон Ньютона в імпульсній формі?
4. Що таке зовнішні та що таке внутрішні сили системи тіл?
5. У чому суть закону збереження імпульсу?

Вчимося розв'язувати задачі

Задача 1. Вагон масою 30 т рухається зі швидкістю $4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ і стикається з нерухомою платформою масою 10 т. Визначте швидкість вагона і платформи після того, як спрацює автозчеплення.

Дано:

$$v_1 = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$m_1 = 30 \text{ т}$$

$$m_2 = 10 \text{ т}$$

$$v = ?$$

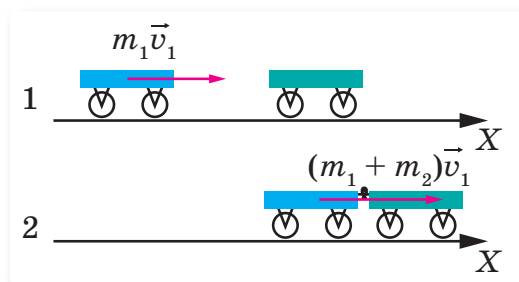
СІ

$$= 30\,000 \text{ кг}$$

$$= 10\,000 \text{ кг}$$

Розв'язання:

Згідно з умовою задачі відбувається neprужна взаємодія, оскільки тіла після зіткнення рухаються як одне тіло (мал. 257). Систему можна вважати замкненою, оскільки сили тяжіння, що діють на вагон і платформу, компенсуються силами реакції опору.



Мал. 257

Рівняння закону збереження імпульсу у випадку такої непружної взаємодії має вигляд: $m_1 \vec{v}_1 + 0 = (m_1 + m_2) \cdot \vec{v}$; ($v_2 = 0$).

У проекції на вісь X : $m_1 v_1 = (m_1 + m_2) \cdot v$.

Звідси: $v = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}$.

$$v = \frac{30 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot 4 \frac{\text{М}}{\text{с}}}{30 \cdot 10^3 \text{ кг} + 10 \cdot 10^3 \text{ кг}} = 0,75 \frac{\text{М}}{\text{с}}.$$

Відповідь: $0,75 \frac{\text{М}}{\text{с}}$.

Задача 2. Граната, що летить зі швидкістю $20 \frac{\text{М}}{\text{с}}$, розривається на два уламки масами $1,2 \text{ кг}$ і $1,8 \text{ кг}$. Більший уламок продовжує рухатись у тому ж напрямку зі швидкістю $50 \frac{\text{М}}{\text{с}}$. Визначте швидкість меншого уламку.

Дано:

$$v = 20 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$v_1 = 50 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$m_1 = 1,8 \text{ кг}$$

$$m_2 = 1,2 \text{ кг}$$

$$v_2 = ?$$

Розв'язання:

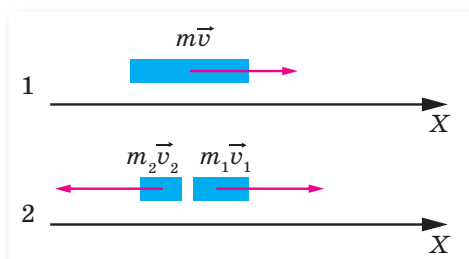
Коли граната була цілою, повний імпульс становив $(m_1 + m_2) \vec{v}$, після розламування її імпульс став $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$.

За законом збереження імпульсу:

$$(m_1 + m_2) \vec{v} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2.$$

Виберемо додатний напрямок осі X уздовж руху більшого уламка (мал. 258).

Оскільки напрямок руху меншого уламка невідомий, то припустимо, що після розламування він рухається в протилежному напрямку від більшого уламку.



Мал. 258

Запишемо рівняння з урахуванням проекції векторів швидкості на координатну вісь: $(m_1 + m_2)v = m_1 v_1 - m_2 v_2$, звідки $v_2 = \frac{m_1 v_1 - (m_1 + m_2)v}{m_2}$.

$$v_2 = \frac{1,8 \text{ кг} \cdot 50 \frac{\text{М}}{\text{с}} - (1,8 \text{ кг} + 1,2 \text{ кг}) \cdot 20 \frac{\text{М}}{\text{с}}}{1,2 \text{ кг}} = 25 \frac{\text{М}}{\text{с}}.$$

Отримана додатна відповідь вказує на те, що швидкість меншого уламку дійсно напрямлена протилежно до напрямку руху більшого уламку.

Відповідь: $25 \frac{\text{М}}{\text{с}}$.

Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 30

1. Рух матеріальної точки описується рівнянням $x = 5 - 8t + 4t^2$. Вважаючи, що маса точки дорівнює 2 кг, визначте імпульс через 2 с і через 4 с після початку відліку часу.
2. Два непружні тіла масою 2 і 6 кг рухаються назустріч одне одному зі швидкістю 2 м/с кожне. З якою швидкістю і в який бік рухатимуться ці тіла після удару?
3. На вагонетку масою 800 кг, яка котиться по горизонтальній колії зі швидкістю 0,2 м/с, насипали зверху 200 кг щебеню. На скільки при цьому зменшилася швидкість вагонетки?
4. Вагон масою 20 т, рухаючись зі швидкістю 0,3 м/с, наздоганяє вагон масою 30 т, що рухається зі швидкістю 0,2 м/с. Якою стане швидкість вагонів після взаємодії, якщо удар був непружним?

§53

Реактивний рух. Фізичні основи ракетної техніки

Ви дізнаєтесь

- Як літають ракети в космос

Пригадайте

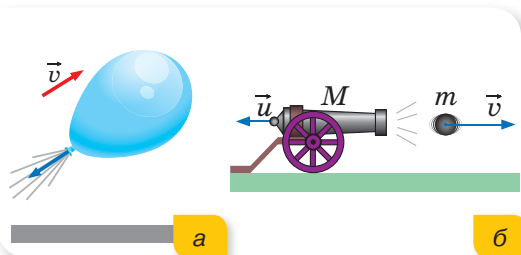
- Закон збереження імпульсу

Реактивний рух. Ми вже знаємо, швидкість тіла (відносно інерціальної системи відліку) може змінюватися тільки в результаті дії на це тіло інших тіл. Наприклад, автомобіль розганяється завдяки тому, що його колеса, обертаючись, «відштовхуються» від дороги. А от від чого можна відштовхнутись, якщо навколо нічого немає — як для ракети у відкритому космосі? Що зумовлює рух гармати при пострілі?

Очевидно, у таких замкнених системах повинні відбуватися певні взаємодії, що й зумовлюють зміну механічного стану тіл, які її утворюють.

Наприклад, розглянемо гумову кульку, наповнену газом, що лежить на столі. Її можна вважати замкненою системою, оскільки сили, що на неї діють, взаємно компенсуються. Газ і гумова оболонка взаємодіють між собою, але ця взаємодія не зумовлює зміни механічного стану системи.

Якщо ж у кульці зробити отвір, через який газ виходитиме назовні, вона почне рухатись у напрямку, протилежному напрямку витікання газу (мал. 259, а). Газ і гумова оболонка відштовхуються одне від одного — що



Мал. 259. Приклади реактивного руху

й зумовлює рух. Подібне спостерігається і при пострілі з гармати: штовхаючи ядро, гармата й сама відчуває поштовх ядра (мал. 259, б).

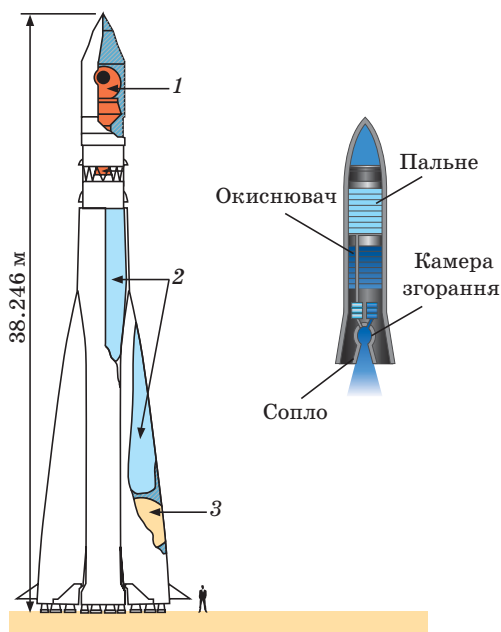
Наведені приклади руху називають *реактивним рухом*.

Реактивний рух виникає завдяки викиданню частини маси тіла з деякою швидкістю. При цьому частина, що залишилась, набуває швидкості у протилежному напрямку.

Фізичні основи ракетної техніки.

Практичне застосування реактивний рух знайшов у реактивних видах транспорту (космічних ракетах, реактивних літаках). У головній частині ракети 1 розташована кабіна космонавтів і прилади (мал. 260). На початку польоту маса цієї частини становить усього кілька відсотків від загальної маси ракети. Основна ж маса та об'єм ракети на початку польоту припадає на запас пального. У баках міститься пальне 2 та окиснювач 3, які через форсунки потрапляють у камеру згорання. За високої температури й великого тиску в камері згорання пальне перетворюється на газ (продукт згорання). Продукти згорання викидаються через сопла. Під час викидання продуктів згорання й утворюється реактивна тяга, що рухає транспортний засіб.

Освоєння космічного простору. Світовий простір, який оточує Землю, називають грецьким словом *космос*. Космос із давніх-давен привертав до себе увагу людей, які спочатку прагнули лише піднятися в повітря, щоб оглянути Землю з висоти пташиного польоту. Коли ж люди навчилися літати й ця мрія збулася, постала проблема польоту за межі атмосфери, у космос. Він приваблював не тільки своєю загадковістю, а й новими можливостями для діяльності людини. В умовах космічного вакууму можна забезпечити тривалий час руху космічного апарата без витрати пального.



Мал. 260. Будова космічної ракети



Мал. 261.
С. П. Корольов (а),
В. П. Глушко (б),
реактивний двигун
конструкції
В. П. Глушка (в)

Перші ракети, що були використані для подолання сили земного тяжіння й виведення на орбіту Землі першого штучного супутника та польоту першого космонавта, розроблялися під керівництвом нашого співвітчизника С. П. Корольова (мал. 261, а, с. 237). Одні з перших рідинних реактивних двигунів були розроблені під керівництвом українського й радянського вченого, академіка В. П. Глушка (мал. 261, б). Реактивні двигуни його конструкції (мал. 261, в) забезпечували надійну роботу перших космічних апаратів.

Найважливіші етапи освоєння космосу.

- 1957 р. під керівництвом С. П. Корольова створено першу у світі міжконтинентальну балістичну ракету Р-7, яка того ж року була використана для запуску першого у світі штучного супутника Землі.
- 4 жовтня 1957 р.— запущено перший штучний супутник Землі «Супутник-1» (СРСР).
- 3 листопада 1957 р. — запущено другий штучний супутник Землі «Супутник-2», який вперше вивів у космос живу істоту — собаку Лайку (СРСР).
- 4 жовтня 1959 р.— запущено АМС «Луна-3», яка вперше у світі сфотографувала невидимий із Землі бік Місяця. Також під час польоту вперше у світі було на практиці здійснено гравітаційний маневр (СРСР).
- 12 квітня 1961 р. — здійснено перший політ людини в космос (Ю. Гагарін) на кораблі «Восток-1» (СРСР).
- 16 червня 1963 р.— здійснено перший у світі політ у космос жінки-космонавта (Валентина Терешкова) на космічному кораблі «Восток-6» (СРСР).
- 18 березня 1965 р.— здійснено перший в історії вихід людини у відкритий космос. Космонавт Олексій Леонов здійснив вихід у відкритий космос із корабля «Восход-2» (СРСР).
- 3 лютого 1966 р.— АМС «Луна-9» здійснила першу у світі м'яку посадку на поверхню Місяця, були передані панорамні знімки Місяця (СРСР).
- 21 липня 1969 р.— перша висадка людини на Місяць (Н. Армстронг) у рамках місячної експедиції корабля «Аполлон-11», що доставив на Землю, серед іншого, і перші проби місячного ґрунту (США).
- 17 листопада 1970 р.— м'яка посадка на Місяць і початок роботи першого у світі напівавтоматичного самохідного апарата, дистанційно керованого із Землі, — «Луноход-1» (СРСР).
- У 1997 р. відбувся політ першого космонавта-дослідника незалежної України Леоніда Каденюка в складі екіпажу американського космічного корабля «Колумбія».
- 30 вересня 2016 р. завершено 12-річну місію космічного апарата «Розетта», який досліджував комету Чурюмова — Герасименко.



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. Яка важлива особливість реактивного руху забезпечує його широке використання в сучасній техніці?

2. Які основні складові космічної ракети?
3. Для прискорення потрібна дія сили, а сила пов'язана з дією одного тіла на інше. Чому ж прискорюється ракета в космічному просторі, де навколо немає інших тіл?
4. Назвіть основні етапи освоєння космосу. Для чого досліджується космос? Які головні напрями дослідження космосу?
5. Під час запуску моделі ракети масою 250 г з неї вийшло майже миттєво 50 г стиснутого повітря зі швидкістю 2 м/с. Визначте швидкість, з якою рухатиметься ракета.
6. Куля вилітає з рушниці в горизонтальному напрямку зі швидкістю $v = 800$ м/с. Яка швидкість рушниці при віддачі, якщо її маса в 400 разів більша за масу кулі?

§ 54

Механічна робота. Потенціальна і кінетична енергії

Механічна робота. Пригадаймо, що нам відомо про механічну роботу. З повсякденного життя ви знаєте, що роботу виконують найрізноманітніші машини та механізми, а також людина за допомогою своїх м'язів. Робота зводиться до надання руху навколишнім тілам, підтримки його або зупинки рухомого тіла. Такі зміни механічного руху відбуваються в результаті взаємодії тіл. Тож, якщо до тіла прикладена певна сила й воно переміщується під її дією, то сила виконує механічну роботу.

Ви дізнаєтесь

- Як пов'язані між собою механічна робота й енергія

Пригадайте

- Види механічної енергії
- Що таке механічна робота

Механічною роботою, або роботою сили A , називають фізичну величину, що характеризує дію сили протягом певного переміщення і яка визначається добутком сили \vec{F} і переміщення \vec{s} та косинусом кута α між векторами сили й переміщення: $A = Fs \cos \alpha$.

Робота — величина скалярна. Одиниця роботи — джоуль, $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Часто використовують несистемну одиницю роботи $\text{кВт} \cdot \text{год}$, $1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.

З формули $A = Fs \cos \alpha$ випливає, що значення роботи може бути додатним, від'ємним або дорівнювати нулю, залежно від того, який кут між напрямками сили та переміщення, а саме $A > 0$, якщо $\alpha < 90^\circ$; $A = 0$, якщо $\alpha = 90^\circ$; $A < 0$, якщо $\alpha > 90^\circ$.

Наприклад, під час рівномірного підняття вантажу за допомогою піднімального крана на вантаж діє сила натягу тросу, напрямлена вгору (у напрямку руху вантажу) і сила тяжіння — напрямлена вниз (проти руху вантажу). У такому разі робота сили натягу додатна, а робота сили

тяжіння — від’ємна. Оскільки рух вантажу рівномірний, то сили рівні за модулем. Роботи сил рівні за модулем і протилежні за знаком (а не за напрямком, оскільки робота — величина скалярна).

У випадку рівномірного руху тіла по колу робота сили, що зумовлює такий рух, дорівнює нулю, оскільки вектор швидкості (а отже, і переміщення) напрямлений перпендикулярно до напрямку дії сили. Наприклад, при обертанні тіла, закріпленого на мотузці, сила натягу мотузки не виконує роботи, хоча саме вона змушує тіло так рухатися. Не виконує роботи й сила всесвітнього тяжіння, під дією якої обертаються штучні супутники Землі.

Від’ємну роботу виконують, наприклад, сили тертя. Якщо тіла зміщуються одне відносно іншого, то сила тертя завжди спрямована протилежно напрямку переміщення кожного тіла.

Якщо на тіло одночасно діє кілька сил, вони виконують роботу також одночасно. У цьому разі F у формулі для роботи означає *модуль рівнодійної всіх сил*.

Швидкість виконання роботи характеризується такою величиною, як *потужність*.

Потужність, N — скалярна фізична величина, яка дорівнює роботі A , виконаній за одиницю часу t : $N = \frac{A}{t}$.

Одиницею потужності є ват, $1 \text{ Вт} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$. (Потужність раніше вимірювали кінськими силами, $1 \text{ к. с.} = 735 \text{ Вт}$.)

Механічна енергія. Розглянемо тіло, до якого прикладена постійна сила \vec{F} . Ця сила надає тілу прискорення, тобто змінює швидкість руху тіла й виконує роботу, оскільки тіло здійснює переміщення під дією цієї сили. Отже, між роботою та зміною швидкості має існувати зв’язок.

Розглянемо випадок, коли напрямки дії сили й переміщення однакові. Робота сили в цьому разі обчислюється формулою $A = Fs$. Силу можна визначити за другим закон Ньютона $F = ma$, а переміщення — за формулами

кінематики $s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$, де v, v_0 — модулі векторів швидкості на початку та в кінці руху. Таким чином, $A = ma \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$.

Отже, для обчислення роботи достатньо знати масу тіла та його початкову й кінцеву швидкості руху. Вираз $\frac{mv^2}{2}$ називають *кінетичною енергією* й позначають E_k .

Кінетична енергія E_k — це фізична величина, яка характеризує стан рухомого тіла.

Через поняття кінетичної енергії вираз $A = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$ можна записати у вигляді $A = E_k - E_{k0}$, або $A = \Delta E_k$, тобто робота сили (рівнодійної сил) дорівнює зміні кінетичної енергії тіла.

Використовуючи формулу $A = Fs$, можна отримати вираз для відповідної сили (сили тяжіння, сили пружності, сили тертя).

Так, робота сили тяжіння в разі падіння тіла з деякої висоти h_1 до висоти h_2 (мал. 262) визначається формулою $A = Fs = mg(h_1 - h_2)$.

Величину, що характеризує енергію взаємодії тіла або системи тіл із Землею й дорівнює добутку їхньої маси на прискорення вільного падіння та висоту тіла над поверхнею Землі, називають *потенціальною енергією взаємодії тіла та Землі*: $E_n = mgh$.

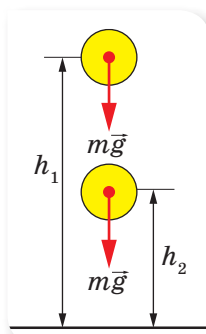
У формулі для роботи сили тяжіння $A = mgh_1 - mgh_2$ перший член характеризує початкове положення тіла, а другий — кінцеве. Величина mgh_1 — це потенціальна енергія тіла в початковому стані, а mgh_2 — потенціальна енергія тіла в кінцевому стані. Позначивши $mgh_1 = E_{n1}$ та $mgh_2 = E_{n2}$, можна записати $A = E_{n1} - E_{n2} = -(E_{n2} - E_{n1}) = -\Delta E_n$.

Отже, *робота сили тяжіння дорівнює зміні потенціальної енергії тіла з протилежним знаком*.

Знак «мінус» вказує на те, що коли сила тяжіння сама виконує роботу (тіло падає вниз), потенціальна енергія тіла зменшується. Якщо тіло кинути вертикально вгору, то робота сили тяжіння від'ємна, а потенціальна енергія тіла збільшується.

На відміну від кінетичної енергії, яка залежить від швидкості руху тіла, потенціальна енергія може бути відмінною від нуля, навіть тоді, коли тіло перебуває у стані спокою. Наприклад, вантаж масою m , який піднятий за допомогою піднімального крана на певну висоту h й утримується у спокої, має потенціальну енергію mgh . Якщо надати вантажу можливість впасти, то сила тяжіння виконає роботу, яка дорівнює потенціальній енергії вантажу.

Потенціальна енергія пружини з коефіцієнтом жорсткості k , стиснутої або розтягнутої на Δx , визначається за формулою $E_{\text{пруж}} = \frac{k(\Delta x)^2}{2}$.



Мал. 262.
До визначення роботи сили тяжіння за вертикального руху тіла

Потенціальна енергія E_n — це енергія взаємодії тіл або частин тіла, що визначається їх взаємним розміщенням.

ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Автомобіль рухається по рівній дорозі. Чи здійснює роботу сила тяжіння, що діє на автомобіль?
2. Тіло кинуто вертикально вгору. Укажіть, додатну чи від'ємну роботу виконує сила тяжіння: а) під час підняття тіла; б) під час його падіння.
3. Чи можуть кінетична й потенціальна енергії тіла бути від'ємними?
4. Що спільного у виразах для роботи сили пружності та роботи сили тяжіння? Що спільного в потенціальних енергіях тіла, на яке діє сила тяжіння, і тіла, на яке діє сила пружності?

§55

Застосування законів збереження енергії та імпульсу в механічних явищах

Ви дізнаєтесь

- Як застосовувати закони збереження імпульсу та механічної енергії

Пригадайте

- Закон збереження імпульсу

Закон збереження механічної енергії. Суму кінетичної та потенціальної енергій тіла називають **повною механічною енергією** тіла: $E = E_k + E_p$.

Кінетична й потенціальна енергії тіл можуть змінюватися із часом, але в замкненій системі їх сума залишається сталою. Розглянемо перетворення енергії в замкненій системі, у якій тіла взаємодіють одне з одним силами пружності або (та) силами тяжіння й ніякі зовнішні сили на них не діють. Така система може мати як кінетичну, так і потенціальну енергію. Кінетичну — внаслідок руху тіл системи, потенціальну — внаслідок їх взаємодії.

Як ми вже з'ясували, за будь-яких взаємодій тіл, робота сил пружності (тяжіння) визначається зміною їх потенціальної енергії, взятої з протилежним знаком, $A = -(E_{п2} - E_{п1})$.

Разом з тим, робота тих самих сил визначається зміною їх кінетичної енергії, $A = E_{к2} - E_{к1}$. Прирівнявши ці вирази, отримаємо $-(E_{п2} - E_{п1}) = E_{к2} - E_{к1}$, або: $E_{к1} + E_{п1} = E_{к2} + E_{п2}$. Цей вираз є математичним рівнянням закону збереження повної механічної енергії.

Закон збереження і перетворення повної механічної енергії: повна механічна енергія замкненої системи тіл, які взаємодіють силами тяжіння або (та) пружності, залишається незмінною за будь-яких взаємодій тіл між собою.

Формулюючи цей закон, завжди підкреслюють, що він справджується лише тоді, коли тіла взаємодіють силами пружності або (та) тяжіння без дії сторонніх сил.

Формулюючи цей закон, завжди підкреслюють, що він справджується лише тоді, коли тіла взаємодіють силами пружності або (та) тяжіння без дії сторонніх сил.

Застосування законів збереження енергії й імпульсу в механічних явищах. Закони збереження — це фундаментальні закони природи, оскільки вони не залежать від природи й характеру діючих сил. За допомогою законів збереження енергії й імпульсу можна досліджувати рухи тіл навіть у тих випадках, коли сили залишаються невідомими.

Розв'язування задачі на сумісне використання закону збереження імпульсу та закону збереження енергії починається (де це необхідно) з виконання схематичного малюнка. Причому на цьому малюнку треба відобразити, що відбувається із системою тіл на кожному етапі. Указати швидкість тіл і яку енергію має система на кожному етапі. Записати рівняння закону збереження імпульсу та енергії для кожного етапу й розв'язати систему одержаних рівнянь відносно невідомої величини.

Підтвердженням цього є розглянуті далі приклади розв'язування задач.



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Я поміркую й зможу пояснити

1. Що таке повна механічна енергія тіла чи системи тіл?
2. Сформулюйте закон збереження механічної енергії і закон збереження імпульсу. Що спільного у цих законів?
3. Чому закони збереження називають фундаментальними?



Вчимося розв'язувати задачі

Задача 1. Під час пострілу з пружинного пістолета вертикально вгору куля масою 20 г піднялася на висоту 5 м. Знайдіть жорсткість пружини пістолета, якщо вона була стиснута на 10 см. Масою пружини знехтувати.

Дано:

$$m = 2 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$$

$$v_0 = 0$$

$$h = 5 \text{ м}$$

$$x = 0,1 \text{ м}$$

$$k = ?$$

Розв'язання:

Система куля — Земля є замкненою, де діють сила тяжіння та сила пружності, тому для неї виконується закон збереження повної механічної енергії: $E_{к1} + E_{п1} = E_{к2} + E_{п2}$.

Оскільки в початковому й кінцевому станах куля перебуває у стані спокою, то $E_{к1} = E_{к2} = 0$.

Потенціальна енергія системи в початковому стані дорівнює потенціальній енергії стисненої пружини, а в кінцевому — потенціальній енергії кулі на висоті h .

$$E_{п1} = E_{п2} \text{ або } \frac{kx^2}{2} = mgh, \text{ звідки: } k = \frac{2mgh}{x^2}.$$

$$\text{Обчислення: } k = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \cdot 5 \text{ м}}{(0,1)^2 \text{ м}^2} = 196 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

$$\text{Відповідь: } 196 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Задача 2. Для визначення початкової швидкості руху кулі масою 10 г стріляють у дерев'яний брусок масою 6 кг, який підвішений на нитках. Брусок з кулею, що в ньому застряє, піднімається на висоту 49 мм. Визначте: а) початкову швидкість кулі; б) кінетичну енергію кулі в момент пострілу; в) частину механічної енергії, яка перетворюється у внутрішню.

Дано:

$$m_1 = 10^{-2} \text{ кг}$$

$$m_2 = 6 \text{ кг}$$

$$h = 4,9 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$v_0 - ?$$

$$E_k - ?$$

$$\Delta E - ?$$

Розв'язання:

Систему брусок — куля можна вважати ізольованою, оскільки в момент потрапляння кулі в брусок усі сили, що діяли на них, зрівноважені; опором повітря нехтуємо (мал. 263).

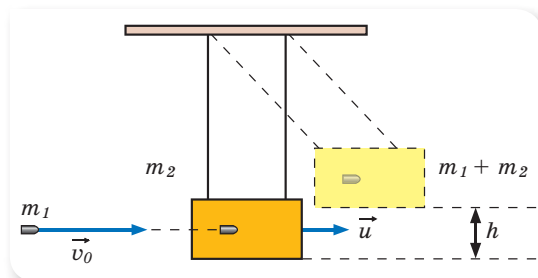
За законом збереження імпульсу: $m_1 \vec{v}_0 = (m_1 + m_2) \vec{u}$.

У проекціях на вісь X : $m_1 v_0 = (m_1 + m_2) u$.

Звідки $v_0 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} u$.

Швидкість бруска з кулею в момент удару u визначаємо, застосовуючи закон збереження енергії: $\frac{(m_1 + m_2) u^2}{2} = (m_1 + m_2) gh$, звідки $u = \sqrt{2gh}$.

Початкова швидкість кулі $v_0 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \sqrt{2gh}$.



Мал. 263

Кінетична енергія кулі в момент пострілу $E_k = \frac{m_1 v_0^2}{2}$.

Частина механічної енергії ΔE , що перетворюється у внутрішню, дорівнює різниці кінетичної енергії кулі в початковий момент і потенціальної енергії бруска з кулею в кінцевий момент, $\Delta E = \frac{m_1 v_0^2}{2} - (m_1 + m_2) gh$.

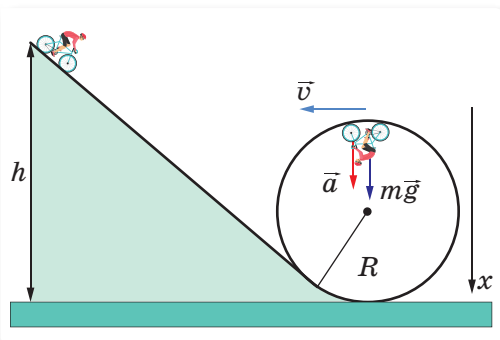
$$\text{Обчислення: } v_0 = \frac{6 \text{ кг} + 10^{-2} \text{ кг}}{10^{-2} \text{ кг}} \sqrt{2 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 4,9 \cdot 10^{-2} \text{ м}} \approx 589 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$E_k = \frac{10^{-2} \text{ кг} \cdot \left(589 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{2} \approx 1734,6 \text{ Дж.}$$

$$\Delta E = 1734,6 \text{ Дж} - 6,01 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0,049 \text{ м} \approx 1731,7 \text{ Дж.}$$

Відповідь: $589 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; 1734,6 Дж; 1731,7 Дж.

Задача 3. З якої мінімальної висоти h має спускатись велосипедист, щоб проїхати за інерцією (без тертя) по внутрішній стороні велотреку у вигляді «мертвої петлі» радіусом R без відриву у верхній точці (мал. 264)?



Мал. 264

Розв'язання

Виберемо нульовий рівень енергії. Пов'яжемо його з підніжжям гірки. Щодо цього рівня, тіло на висоті h має потенціальну енергію $E_{\text{п1}} = mgh$. У міру руху, потенціальна енергія тіла зменшується й переходить в кінетичну енергію.

У підніжжя гірки потенційна енергія тіла дорівнює нулю, а кінетична енергія максимальна й дорівнює $E_{\text{к1}} = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$.

Далі тіло, піднімаючись угору, рухається по колу. У верхній точці кола воно має швидкість v , отже, має кінетичну енергію $E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$. Ця енергія менша від кінетичної енергії, яку тіло мало біля підніжжя гірки, оскільки воно піднялося на висоту, яка дорівнює $2R$, і набуло потенціальну енергію $E_{\text{п}} = mg^2R$.

Якщо втрат енергії немає, то сума потенціальної та кінетичної енергії в будь-якій точці траєкторії є величиною постійною.

Обираємо тільки два стани тіла — у вихідній точці та верхній точці кола. Згідно із законом збереження енергії: $E_{\text{п1}} = E_{\text{к}} + E_{\text{п}}$.

$$\text{Або: } mgh = \frac{mv^2}{2} + mg2R. \text{ Звідки } h = \frac{v^2}{2g} + 2R.$$

У верхній точці «мертвої петлі» на велосипедиста діє тільки сила тяжіння, оскільки сила тиску коліс на поверхню компенсується силою реакції опори.

Зверніть увагу! У випадку рівномірного руху по колу модуль швидкості не змінюється, проте змінюється її напрямок. А для векторної величини модуль і напрям однаково важливі! Тому рівномірний рух по колу відбувається з прискоренням, зумовленим зміною напрямку вектора швидкості. Це прискорення в усіх точках кола напрямлене по радіусу до центра кола, його так і називають — **доцентрове прискорення** і визначають за формулою: $a_{\text{д}} = \frac{v^2}{R}$.

Направимо вісь X вертикально вниз і напишемо рівняння другого закону Ньютона у векторній формі: $m\vec{a}_d = m\vec{g}$ Звідси: $a_d = g = \frac{v^2}{R}$.

Виразимо $v^2 = Rg$.

Підставляємо: $h = \frac{Rg}{2g} + 2R = 2,5R$.

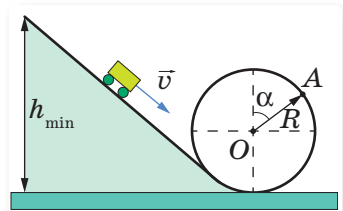
Відповідь: $2,5R$.



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

Вправа 31

1. Яку роботу треба виконати, щоб по похилій площині з кутом нахилу 30° підняти вантаж масою 400 кг на висоту 2 м з коефіцієнтом тертя 0,3?
2. На яку відстань хлопчик перемістив санки, прикладаючи до мотузки санонок силу 23 Н під кутом 30° до напрямку руху й виконавши роботу 1,2 кДж?
3. Шофер вимкнув двигун автомобіля на швидкості 72 км/год. Пройшовши відстань 34 м, автомобіль зупинився. Якою була кінетична енергія автомобіля в момент вимкнення двигуна, якщо сила тертя коліс об дорогу 5880 Н? Яка маса автомобіля?
4. Яку роботу виконує сила тертя, коли автомобіль масою 1000 кг, що мав швидкість 90 км/год, гальмує до швидкості 54 км/год?
5. Яку роботу виконує людина, піднімаючи тіло масою 2 кг на висоту 1 м із прискоренням 3 м/с^2 ?
6. Яку роботу треба виконати, щоб розтягнути пружину, жорсткість якої 40 кН/м, на 0,5 см?
7. Куля масою 3 кг падає з висоти 3 м на пружину і стискає її. Визначте максимальний стиск пружини, якщо її жорсткість 700 Н/м. Масою пружини знехтувати.
8. М'яч підкинули з висоти 1,5 м вертикально вгору зі швидкістю 3 м/с. На якій висоті кінетична енергія м'яча дорівнюватиме потенціальній?
9. Кулька масою 10 г, що вилітає горизонтально з пружинного пістолета, потрапляє в центр підвішеної на нитці пластилінової кулі масою 40 г і застряє в ній. Жорсткість пружини пістолета — 400 Н/м, стиск пружини перед пострілом — 5 см. На яку висоту піднімуться кульки?
10. Невеликий візочок масою $m = 1$ кг описує у вертикальній площині «мертву петлю», скочуючись із найменшої необхідної для цього висоти (мал. 265). Визначте, з якою силою F візок тисне на рейки в точці A петлі, радіус якої утворює кут $\alpha = 60^\circ$ з вертикаллю. Тертя не враховувати.



Мал. 265

11. Імпульс тіла дорівнює $8 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$, а кінетична енергія — 16 Дж . Визначте масу та швидкість руху тіла.
12. Маса самоскида у 18 разів більша за масу легкового автомобіля, а швидкість самоскида в 6 разів менша від швидкості легкового автомобіля. Порівняйте імпульси та кінетичні енергії самоскида та легкового автомобіля.
13. Ковзаняр масою 70 кг , що стоїть у ковзанах на льоду, кидає в горизонтальному напрямку камінь масою 3 кг зі швидкістю 8 м/с . Визначте, на яку відстань від'їде при цьому ковзаняр, якщо коефіцієнт тертя ковзанів об лід $0,02$.
14. Свинцева куля масою 500 г , що рухається зі швидкістю 10 см/с , вдаряється в нерухому кулю з воску масою 200 г , після чого обидві кулі рухаються разом. Визначте кінетичну енергію куль після удару.



Математичний і пружинний маятники

Характеристики коливального руху маятників.

У § 23 ми розглядали коливальні рухи, що виходили за межі коливальних систем, — маятників. Пригадували, що коливальний рух маятників вивчався в 7 класі. Що ж залишилось поза нашої увагою? Узагальнимо й розширимо наші знання.

Пружинний маятник — це тіло масою m , закріплене на пружині, жорсткість якої k і яке коливається під дією сили пружності (мал. 266, а, с. 248).

Математичний маятник — це точкове тіло, підвішене до нерозтяжної й невагомої нитки. Математичний маятник — це поняття абстрактне, тому з певним наближенням математичним маятником можна вважати кульку, підвішену на нитці (мал. 266, б, с. 248).

Ці маятники є *коливальними системами*, у яких можуть відбуватися коливання. Кожна коливальна система має стан рівноваги. Для математичного маятника — це положення, у якому центр мас підвішеної кульки лежить на одній вертикалі з точкою підвісу; у горизонтального пружинного маятника — це положення, у якому пружина не деформована.

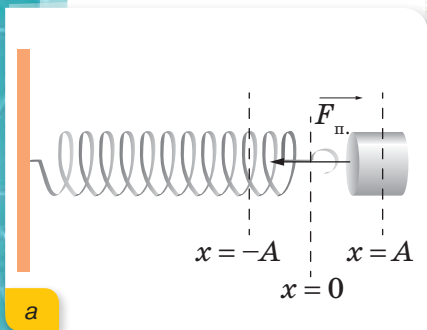
Якщо коливальну систему вивести зі стану рівноваги, виникає сила, що повертає систему в рівноважний стан. При цьому коливальне тіло не зупиняється в рівноважному стані, а продовжує свій рух за інерцією. У системі виникають вільні коливання.

Ви дізнаєтесь

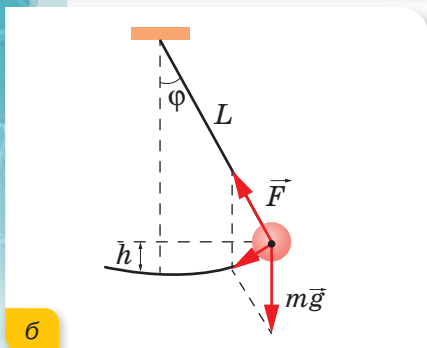
- Як за допомогою маятника довести, що Земля обертається

Пригадайте

- Що таке коливальна система
- Якими величинами описується коливальний рух



а



б

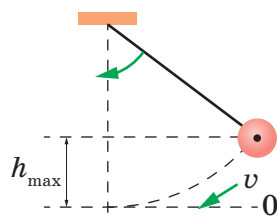
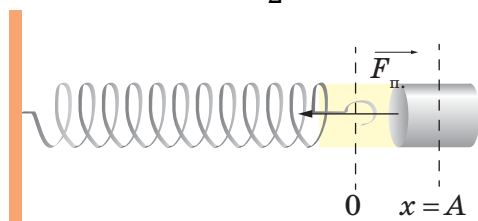
Мал. 266. Маятники:
а — пружинний; б — математичний

гармонічними коливаннями. У гармонічних коливаннях сили, під дією яких вони відбуваються, завжди пропорційні до зміщення і спрямовані протилежно до нього (до положення рівноваги). Для пружинного маятника — це сила пружності, для математичного — рівнодійна сили всесвітнього тяжіння та сили натягу нитки.

Перетворення енергії під час коливального руху маятників. Розглядаючи рухи маятників, вважатимемо, що тертя в обох коливальних системах відсутнє або настільки мале, що ним можна знехтувати. Така система є ізольованою і для неї виконується закон збереження механічної енергії.

У початковий момент (тіло відведено у крайнє ліве положення) коливальна система має максимальну потенціальну енергію. Для пружинного

маятника це $E_{п.макс} = \frac{kx_{макс}^2}{2}$, для математичного — $E_{п.макс} = mgh_{макс}$.



Вільними (або власними) називають коливання, які виникають у результаті початкового виведення системи з положення стійкої рівноваги і здійснюються за рахунок внутрішніх сил системи, не зазнаючи впливу з боку змінних зовнішніх сил.

Період вільних коливань пружинного маятника визначається масою коливного тіла та

жорсткістю пружини $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$.

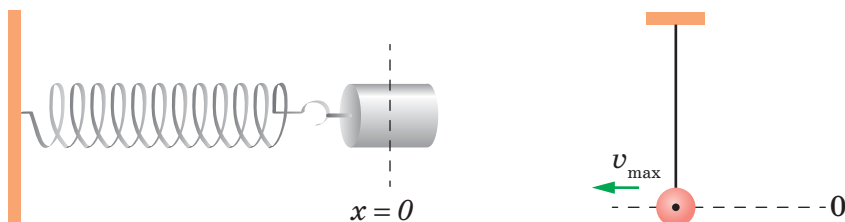
Період вільних коливань математичного маятника залежить лише від прискорення вільного падіння в даному місці Землі та від

довжини маятника $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Період не залежить від амплітуди коливань і від маси підвішеного тягарця, що легко перевірити на дослідах із різними маятниками. (Це ви зробите, виконуючи роботи фізичного практикуму.)

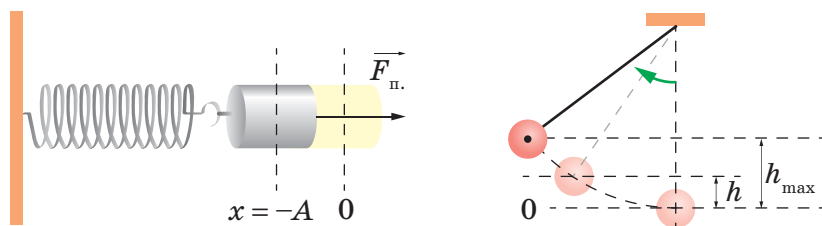
Вільні коливання горизонтального пружинного та математичного маятників (за малих кутів відхилення 3–5°) ще називають *гармонічними коливаннями*.

Вільні коливання горизонтального пружинного та математичного маятників (за малих кутів відхилення 3–5°) ще називають *гармонічними коливаннями*.

Рухаючись до положення рівноваги, система зменшує потенціальну енергію, але при цьому збільшується її кінетична енергія, яка набуває максимального значення в положенні рівноваги, де швидкість коливного тіла є максимальною. Для обох маятників $E_{к.макс} = \frac{mv_{макс}^2}{2}$.

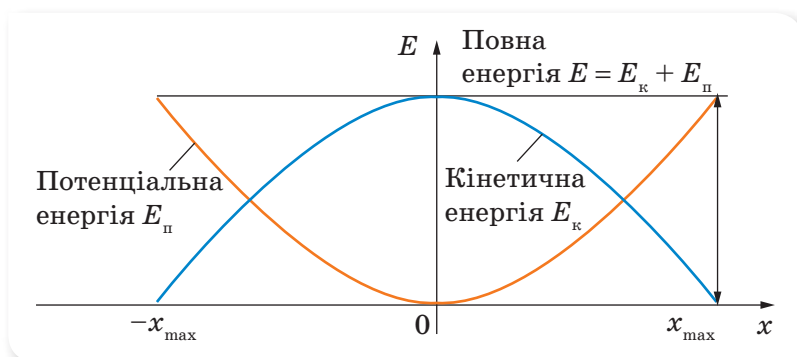


Проходячи положення рівноваги, тіло зменшує кінетичну енергію й, зупиняючись у крайньому правому положенні, має максимальну потенціальну енергію. Кінетична енергія при цьому дорівнює нулю.



Таким чином, кінетична енергія коливальної системи матиме максимальні значення в моменти проходження тілом положень рівноваги, а потенціальна — у моменти перебування тіла в точках найбільших відхилень від положення рівноваги. У довільний момент часу сума потенціальної і кінетичної енергії є сталою величиною й дорівнює повній енергії коливальних.

На малюнку 267 зображено графік зміни потенціальної та кінетичної енергій коливальної системи за один період коливальних.



Мал. 267. Графік зміни потенціальної та кінетичної енергій коливальної системи за один період коливальних



Мал. 268. Маятники Фуко

Використання математичних маятників. Оскільки будь-який маятник має фіксований період коливань, їх використовують для регулювання ходу годинників. Маятники використовують і в геологічних розвідках. У місцях, де залягають породи металевих руд, значення g аномально велике. Точні вимірювання прискорення вільного падіння за допомогою математичного маятника дають змогу виявити такі родовища.

За допомогою математичного маятника можна виявити добове обертання Землі. Цей дослід у 1851 р. в Парижі виконав Ж. Фуко з маятником завдовжки 67 м. Тому маятники, за допомогою яких можна продемонструвати добове обертання Землі навколо своєї осі, називають маятниками Фуко (мал. 268).

Зміст досліду полягає в тому, що площина коливань математичного маятника залишається незмінною відносно інерціальної системи відліку. Тоді відносно неінерціальної системи відліку, пов'язаної із Землею, площина коливань маятника має повертатись.

Пізніше цей дослід повторювали в різних місцях. Очевидно, що ефект повороту площини коливань маятника залежить від широти місця проведення досліду, він найбільш виражений на земних полюсах і відсутній на екваторі.



ФОРМУЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Я поміркую й зможу пояснити

1. Яка коливальна система називається математичним маятником? Пружинним маятником?
2. За яких умов коливання математичного маятника будуть гармонічними?
3. Від чого залежить період коливань пружинного маятника? Математичного маятника?
4. Розкажіть про перетворення енергії під час гармонічних коливань. Скільки разів протягом періоду гармонічного коливання кінетична енергія системи дорівнює її потенціальній енергії в той самий момент часу?
5. Як зміниться хід годинника з маятником на металевому стержні: а) з підвищенням температури; б) при піднятті на гору; в) при переміщенні від полюса до екватора?



Вчимося розв'язувати задачі

Задача. Тягар масою 2 кг здійснює горизонтальні коливання на пружині. Амплітуда коливань 5 см, період коливань 5 с. Обчисліть максимальні значення кінетичної та потенціальної енергії, а також швидкість руху тягарця в момент проходження положення рівноваги.

Дано:

$$m = 2 \text{ кг}$$

$$x_{\max} = 0,05 \text{ м}$$

$$T = 5 \text{ с}$$

$$E_{\text{п.макс}} \text{ — ?}$$

$$E_{\text{к.макс}} \text{ — ?}$$

$$v \text{ — ?}$$

Розв'язання:

Для пружинного маятника максимальна потенціальна енергія $E_{\text{п.макс}} = \frac{kx_{\max}^2}{2}$. Жорсткість пружини виразимо

з формули $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$.

$$\text{Маємо } E_{\text{п.макс}} = \frac{kx_{\max}^2}{2} = \frac{4\pi^2 mx_{\max}^2}{2T^2}.$$

$$\text{Обчислюємо: } E_{\text{п.макс}} = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 2 \text{ кг} \cdot 25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2}{2 \cdot 25 \text{ с}^2} \approx 4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

За законом збереження енергії максимальні значення кінетичної й потенціальної енергій рівні між собою. $E_{\text{к.макс}} \approx 4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$.

У момент проходження положення рівноваги швидкість руху тягарця максимальна. Її визначаємо з формули $E_{\text{к.макс}} = \frac{mv_{\max}^2}{2}$.

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2E_{\text{к.макс}}}{m}}. \text{ Обчислюємо: } v_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}}{2 \text{ кг}}} \approx 6,3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\text{Відповідь: } E_{\text{п.макс}} = E_{\text{к.макс}} \approx 4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}, v_{\max} = 6,3 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$



Я можу застосовувати знання й розв'язувати задачі

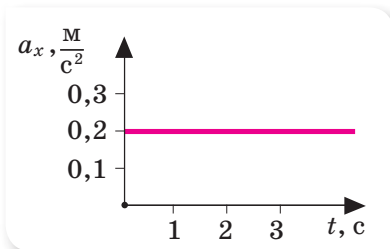
Вправа 32

1. Маятник зробив 50 коливань за 1 хв 40 с. Визначте період, частоту та циклічну частоту коливань.
2. Як відносяться довжини математичних маятників, якщо за той самий час один з них робить 10, а другий — 30 коливань?
3. За один і той самий час перший математичний маятник робить 50 коливань, другий — 30. Визначте довжини цих маятників, якщо один з них на 32 см коротший від іншого.
4. Пружинний маятник вивели з положення рівноваги та відпустили. Через який час (у частинах періоду) кінетична енергія коливного тіла дорівнюватиме потенціальній енергії пружини? Коливання відбуваються в горизонтальному напрямку.
5. Вантаж, маса якого 400 г, коливається горизонтально на пружині, що має жорсткість 250 Н/м. Амплітуда коливань 15 см. Визначте частоту, повну механічну енергію коливань і найбільшу швидкість руху вантажу.
6. Тіло масою $m = 1 \text{ кг}$ під дією пружини жорсткістю $k = 400 \text{ Н/м}$ коливається без тертя в горизонтальній площині вздовж стержня. Користуючись законом збереження енергії, визначте період коливань тіла.

Перевірте себе

Рівень А (початковий)

- Укажіть, у якому стані перебуває тіло, на яке діє стала за значенням і напрямком сила.
 - А рівномірного прямолінійного руху
 - Б рівноприскореного прямолінійного руху
 - В рівномірного руху по колу
 - Г у стані вільного падіння
- Швидкість руху тіла змінюється за законом: $v_x = -10 + 0,4t$. Визначте, у який момент часу швидкість тіла дорівнюватиме 2 м/с.
 - А 30 с
 - Б 200 с
 - В 300 с
 - Г 20 с
- За графіком прискорення автобуса (мал. 269) масою 4 т, який рухається прямолінійно, визначте модуль рівнодійної всіх сил, що діють на нього.



Мал. 269

- А 8 кН
 - Б 800 Н
 - В 40 Н
 - Г 40 кН
- Пластилінова кулька масою 40 г впала на стіл зі швидкістю 2 м/с. Визначте зміну імпульсу кульки.
 - А $80 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$
 - Б $0,8 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$
 - В $8 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$
 - Г $0,08 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$
 - Автомобіль, що рухається горизонтальною дорогою, здійснює екстремне гальмування. Укажіть, які перетворення енергії при цьому відбуваються.
 - А потенціальна енергія перетворюється в кінетичну
 - Б кінетична енергія перетворюється в потенціальну
 - В потенціальна енергія перетворюється у внутрішню
 - Г кінетична енергія перетворюється у внутрішню
 - Установіть відповідність між рухомих тілом і причиною, що зумовила такий характер руху.

Подія	Діючі на тіло сили
1 яблуко падає	А сила тяжіння
2 збільшується швидкість руху автомобіля	Б сила тяжіння, сила реакції опори, сила тертя, сила опору повітря
3 космічний корабель обертається навколо Землі	В сила пружності, сила тяжіння
4 лижник рухається вниз по схилу гори	Г сила тяжіння, сила опору повітря
	Д сила тяжіння, сила реакції опори, сила тертя, сила тяги, сила опору повітря

Рівень В (середній)

- Яблуко, яке падає зі столу у вагоні потяга, відхиляється від вертикальної траєкторії до хвоста потяга. Таке відхилення обумовлене тим, що потяг...
А повертає
Б рухається рівномірно та прямолінійно
В сповільнюється
Г прискорюється
- Тіло кинули вертикально вгору з початковою швидкістю 12 м/с. Визначте максимальну висоту, на яку піднімається тіло.
А 1,2 м **Б** 6 м **В** 7,2 м **Г** 14,4 м
- Людина масою 80 кг, стоячи на легкому надувному плоті, відштовхується від нерухомого човна масою 120 кг. При цьому човен набуває швидкості 0,6 м/с. Якої швидкості набуває пліт?
А $0,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ **Б** $0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ **В** $0,9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ **Г** $1,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
- Амплітуда коливань пружинного маятника 5 см, частота коливань 1 Гц. Який шлях пройде тіло, що коливається, за 10 с? Яким буде переміщення тіла за цей час?

Рівень С (достатній)

- Визначте, яким буде переміщення тіла через 2 с після початку руху, якщо його початкова швидкість 5 м/с, а прискорення напрямлене вздовж лінії руху й дорівнює $0,4 \text{ м/с}^2$. Розгляньте всі можливі варіанти.
- Яку роботу необхідно виконати, щоб потяг, який рухається зі швидкістю 72 км/год, збільшив свою швидкість до 108 км/год? Маса поїзда 1000 т. Якою має бути сила тяги локомотива потяга, щоб це збільшення швидкості відбулося на ділянці завдовжки 2 000 м?
- Тіло масою 1 кг вільно падає з висоти 5 м. На якій висоті кінетична енергія тіла дорівнюватиме його потенціальній енергії? Якою буде швидкість руху тіла на цій висоті?
- Два математичні маятники одночасно починають коливатися. За той самий час перший маятник здійснив 20 коливань, а другий — 10. Якою є довжина першого маятника, якщо довжина другого — 1 м?

Рівень D (високий)

- Рівняння руху вантажного автомобіля має вигляд $x_1 = -270 + 12t$, а рівняння руху пішохода, який іде узбіччям того самого шосе, має вигляд $x_2 = -1,5t$. Накресліть графіки руху та визначте: а) положення автомобіля й пішохода в момент початку спостереження; б) з якими швидкостями й у якому напрямку вони рухалися; в) коли й де вони зустрілися?
- Тіло вільно ковзає з вершини нерухомої похилої площини під кутом $\alpha = 30^\circ$ до горизонту. Визначте його швидкість у кінці похилої площини та час руху, якщо висота похилої площини 10 м, а коефіцієнт тертя 0,05. Розв'яжіть задачу двома способами: 1) застосовуючи закони динаміки й кінематики та 2) застосовуючи закони збереження.

ФІЗИКА ТА ЕКОЛОГІЯ

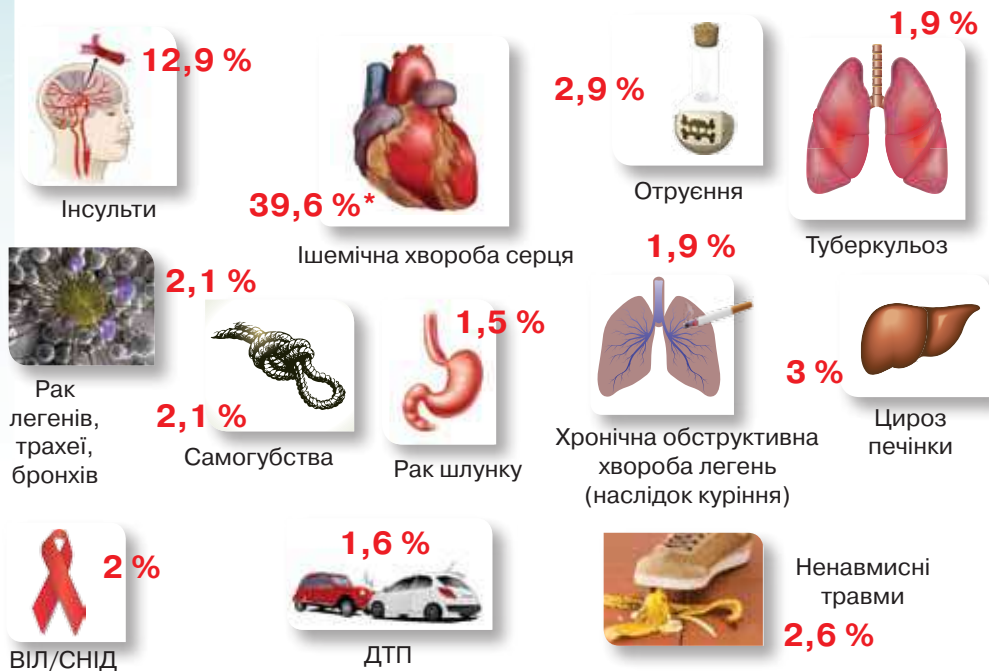
Фізика і проблеми безпеки життєдіяльності людини

Звідки чекати небезпеки? За даними досліджень, що проводяться відповідними фахівцями, найпоширенішою причиною смертності українців є хвороби серця й судин, які спровоковані курінням, алкоголем і стресами.

За кількістю смертей від дорожньо-транспортних пригод наша країна входить до десятки лідерів у Європі. В основному від аварій гине молодь.

А в дитячому віці основна зовнішня причина смертності — утоплення.

Причини смертності українців



* % від загального числа смертей

Світовий банк, 2010 р.

Рівень смертності у світі



* Кількість смертей на 1000 населення

Дані ООН, 2010 р.

Кейс-завдання 1.

Подушка безпеки чи небезпеки? Враховуючи, що найбільшу небезпеку для молоді становлять дорожньо-транспортні пригоди, детальніше розглянемо заходи безпеки на транспорті та їхні фізичні принципи дії. Так, використання ременя й подушок безпеки за статистикою на 85 % знижує ризик важких травм і смертей. Причому на ремінь безпеки припадає 70 %, а на подушки — 10–15 %.

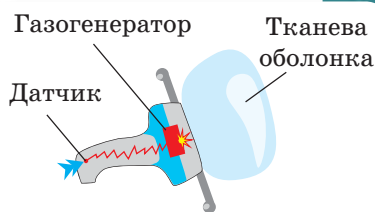
Щоб з'ясувати, які фізичні процеси забезпечують функції подушки безпеки, розглянемо її будову і принцип дії. Складовими подушки безпеки є: а) еластична оболонка з нейлонової тканини, обсипана тальком або крохмалем; б) газогенератор, до складу якого входить піропатрон і «заряд» — тверда суміш азиду натрію, нітрату калію та діоксиду кремнію; в) датчик.

Як тільки датчик отримує сигнал про зіткнення, спрацьовує піропатрон, який запалює азид натрію й нітрат калію, у результаті чого виділяються гази з вивільненням великої кількості теплової енергії, а значить, і з сильним розширенням продуктів реакції. Ці гази, створюючи тиск, і надувають складений мішок. Розкриття подушки безпеки відбувається майже миттєво, не більш як за 0,25 с. За такий час звичайна людина не встигне навіть моргнути. Утім, у максимально надутому стані вона залишається лише кілька хвилин. Газ швидко розсіюється через крихітні отвори, здуваючи подушку, щоб пасажир міг рухатися.

У такий спосіб подушки врятовують водія від сильних ударів і травм, яких він може зазнати під час ДТП. Проте й сама подушка безпеки є небезпечною. Перша й найголовніша небезпека — швидкість розгортання подушки. У момент спрацьовування подушка безпеки так сильно б'є по обличчю, що якщо водій носить окуляри, вони можуть зламатись і пошкодити очі. Другою небезпекою є те, що в разі спрацьовування відразу всіх подушок безпеки обсяг повітря в салоні різко зменшується. Це призводить до сильного навантаження на барабанні перетинки та очі. Третя небезпека — утворення натрію, який є небезпечним для організму людини.

Дайте відповіді на запитання:

- Для чого подушку безпеки посипають тальком або крохмалем?
- Під час вибуху азиду натрію утворюється отруйний для людини газ. Чому все ж таки використовують азид натрію, а не замінюють його? Чому пасажери не відчувають дії отруйного газу?
- Які, на вашу думку, параметри руху й автомобіля необхідно враховувати для розроблення алгоритму спрацювання датчика подушки?
- Якби ви отримали завдання розробити подушки безпеки для велосипедистів, якими були б ваші дії?
- Чи замінять подушки безпеки новітні пристрої захисту? Запропонуйте свій проект.

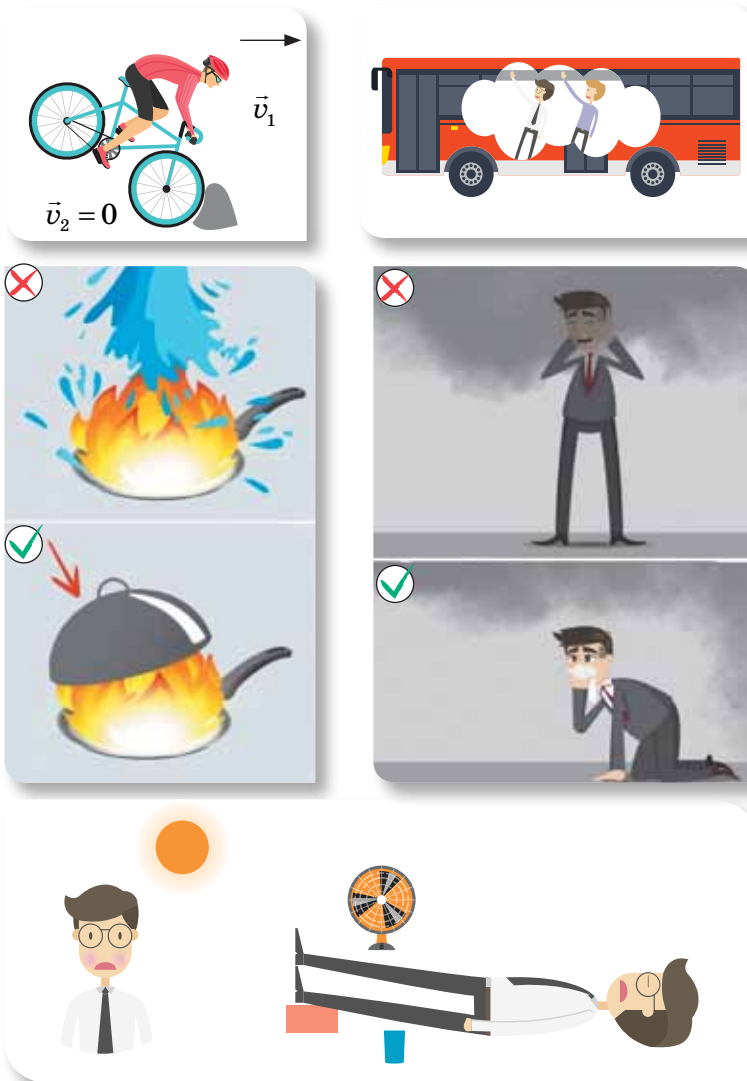


Кейс-завдання 2.

Як пов'язанні знання з фізики й безпека життєдіяльності людини?

З одного боку, досягнення фізики визначають її вагомий вплив не лише на розвиток техніки і технологій, а й на розвиток усього суспільного життя. З іншого боку, необдумані дії людини, озброєної досягненнями науки і техніки призводять до безповоротних і часто руйнівних наслідків для природи та самої людини. Але не менш небезпечним є незнання законів фізики! Вивчаючи фізику впродовж трьох років, ми неодноразово звертали увагу на те, як знання фізики допомагають діяти в тій чи іншій ситуації, що загрожує життю людини.

Пригадаймо деякі з них. Розгляньте малюнки. *Укажіть, знання яких фізичних явищ і процесів необхідно враховувати в тій чи іншій ситуації.*



Як уберетися від блискавки?



Складіть парасолю



Вимкніть мобільний телефон



Не ховайтеся під поодинокими деревами



Не торкайтеся металевих предметів



У полі не стійте на повний зріст — знайдіть заглиблення в землі і сховайтеся там



У горах тримайтеся подалі від вершин, не торкайтеся мокрих скель



Не заходьте у воду



Не бігайте



Удома вимкніть телевизор, не користуйтеся електроприладами



Не створюйте протягів



Фізичні основи бережливого природокористування

Як пов'язанні наукові досягнення фізики та глобальні проблеми екології?

На відміну від решти живих істот, людей не цілком задовольняє те, що може дати природа. В усі часи вони намагалися зробити своє життя зручнішим, комфортнішим, створюючи своє техногенне середовище. Але майже всі досягнення людства мають свій зворотний бік. Бурхливі темпи зростання виробництва, екстенсивне й нераціональне використання природних ресурсів, забруднення відходами виробництва та суспільства — усе це суперечить можливостям планети (її ресурсному потенціалу, запасам прісних вод, здатності самоочищення атмосфери, вод, річок, морів, океанів) і є причиною екологічних проблем.

Основними джерелами забруднення середовища є: а) виробники енергії (ТЕС, АЕС, ГРЕС, сотні тисяч котелень); б) промислові об'єкти (у першу чергу металургійні, хімічні, нафтопереробні, цементні та целюлозо-паперові); в) екстенсивне, перехімізоване сільське господарство; г) військова промисловість і військові об'єкти; д) транспорт (автомобільний, морський, річковий, залізничний, повітряний); е) гірниче виробництво. Вони забруднюють довкілля сотнями токсичних речовин, шкідливими електромагнітними полями, шумами, вібраціями, надмірним теплом.

Що таке сталий розвиток? Екстенсивне й нераціональне використання природних ресурсів обумовлено тим, що за останні 100 років з надр Землі видобуто корисних копалин більше, ніж за всю історію людства. Часто воно зводилося до хижацького вичерпування природних ресурсів.

Усвідомлення цієї небезпеки спонукало світове співтовариство до пошуку шляхів виходу із загрозливого становища. Наприкінці ХХ ст. прийнято **концепцію сталого розвитку людства**. Сталий розвиток передбачає таке використання природних ресурсів теперішніми поколіннями, яке б не ставило під загрозу має майбутніх поколінь. Техногенне навантаження на довкілля не повинно перевищувати його можливостей до самовідновлення. Необхідною умовою реалізації цієї концепції є усвідомлення суспільством переваги екологічних цінностей над іншими.

Кейс-завдання 3.

Проблеми питної води. За твердженням Всесвітньої організації охорони здоров'я, більш як 80 відсотків хвороб, що має людина, пов'язані з якістю води, яку вона п'є. Унаслідок активної господарської діяльності людини на планеті різко знижується кількість і якість питної води.

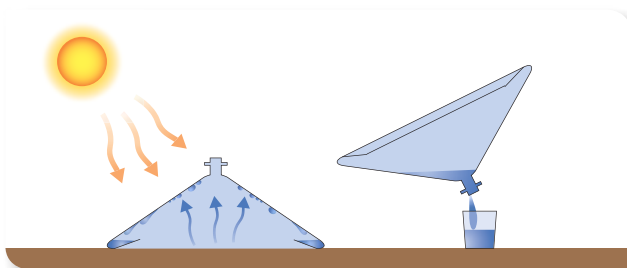
Майже три чверті поверхні Землі вкриває вода, що робить її одним з найпоширеніших природних ресурсів. Однак людство на свої потреби може використовувати лише невелику частину цього скарбу. Адже 97,5 % усього обсягу вод планети припадає на солону морську воду й тільки 2,5 % цих запасів — прісна вода. Але навіть цей обсяг доступний людині далеко не весь — більш ніж дві третини прісноводних ресурсів «законсервовано» у вигляді льоду.

Окрім опріснення і транспортування полярних льодовиків, учені-дослідники шукають інші способи забезпечення прісною водою.

Компанія «Architecture and Vision» змогла придумати вирішення цієї проблеми. Зі стебел бамбука та біо-пластику вони створили вежу й назвали її «Warka Water». Технологія дуже проста: вежа утримує вологу з навколишнього повітря, конденсує її та збирає в спеціальну ємність. Для її роботи не потрібна електрика.



Отримати прісну воду із солоної морської можна й за допомогою так званого водяного конусу (Watercone). Водяний конус виготовлено із пластику, стійкого до дії ультрафіолетових променів. Конус поміщається на лоток із солоною водою (або на вологу землю) і залишається на сонці. Вода починає випаровуватися, конденсуватися та стікати по стінках конуса в резервуари на його основі. Наприкінці дня ви просто перевертаєте, знімаєте ковпачок з верхівки та п'єте воду.



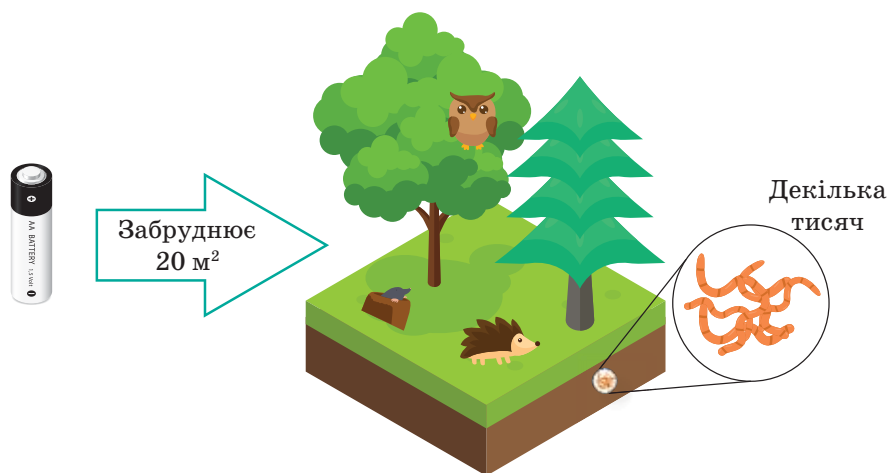
Завдання:

- Запропонуйте свої конструкції пристроїв для опріснення води.
- Наберіть у ємність солоної води й поставте її до морозильної камери. Переконайтеся в тому, що сіль сконцентрується всередині шматка льоду. Якщо її видалити, отримана тала вода буде прісною.

Кейс-завдання 4.

Проблема утилізації батарейок, перегорілих люмінесцентних ламп і несправних термометрів. Проблема з утилізацією використаних батарейок, перегорілих люмінесцентних ламп і несправних термометрів стає з кожним роком все актуальнішою.

Зазвичай люди викидають ці предмети на смітник і не замислюються над тим, що буде далі. А між тим, шкоду від таких дій можна порівняти буквально з бомбою сповільненої дії. Адже потрапивши в землю, одна пальчикова батарейка здатна забруднити 400 л води або 20 м² ґрунту.



Викинувши всього дві старенькі батарейки з ліхтарика, ви зіпсуєте дві ванни, 8 відер і півтора чайника чистої води. Не менш шкідливими для довілля є лампи денного освітлення, а про небезпечність ртуті в термометрах знають навіть діти. То куди ж подіти ці токсичні відходи людського побуту?



Завдання:

- Хто, на вашу думку, має вирішувати проблему утилізації батарейок, люмінесцентних ламп і несправних термометрів: виробники цих засобів, державні органи охорони навколишнього середовища, громадські активісти?
- Чи існують у вашому місті місця збору відпрацьованих батарейок? Як дізнатися про цю інформацію?
- Які ваші особисті дії у вирішенні зазначеної проблеми?

Енергетичні ресурси. Альтернативні джерела енергії

Енергоресурси поділяються на відновлювані та невідновлювані. До перших належать енергоресурси неперервно відновлювані природою (вода, вітер і т.п.), а до других — енергоресурси, раніше накопичені в природі, але в нових геологічних умовах не утворювані (кам'яне вугілля).

Енергія, безпосередньо взята в природі (енергетичного палива, води, вітру, ядерна), називається первинною.

Енергія, отримана людиною після перетворення первинної енергії на спеціальних установках — станціях, називається вторинною (електрична енергія, енергія пари, гарячої води).

Значна частина енергоресурсів витрачається на електростанціях для вироблення електроенергії. Людству треба прагнути витрачати якомога менше енергії невідновлюваних джерел і якомога більше — відновлюваних. До альтернативних джерел енергії належать відновлювальні — вітер, сонячне випромінювання, енергія морів та океанів тощо.

Кейс-завдання 5.

Порівняння виробників енергії. Заповніть таблицю

Виробник енергії	Переваги	Недоліки
Гідроелектростанція		
Теплова електростанція		
Атомна електростанція		
Припливна електростанція		
Вітряна електростанція		
Сонячна електростанція		

ЕВОЛЮЦІЯ ФІЗИЧНОЇ КАРТИНИ СВІТУ

Еволюція фізичної картини світу

Що таке картина світу? *Картина світу* — це систематизована інформація людини про світ. Зокрема, фізична картина світу — це здатність людини усвідомлювати контекст фізичних знань (сказати з внутрішнім переконанням, що цей факт узгоджується з моїми знаннями про світ).

В основі пояснення явищ природи з точки зору фізики лежать фундаментальні фізичні поняття і принципи. До найбільш загальних, фундаментальних понять фізичного опису природи належать: матерія, рух, фізична взаємодія, простір і час, причинно-наслідкові зв'язки, місце та роль людини у світі.

Механічна картина світу. Першою картиною світу була механічна. Її формування відбувалося впродовж декількох століть до середини XIX ст. під впливом поглядів видатних мислителів стародавнього світу: Демокріта, Епікура, Аристотеля, Лукреція та ін. Вона стала необхідним і дуже важливим кроком на шляху пізнання природи. Імена вчених, що внесли основний вклад у створення механічної картини світу: Миколай Копернік, Галілео Галілей, Рене Декарт, Ісаак Ньютон, П'єр-Симон Лаплас та ін.

Основні риси механічної картини світу.

Усі матеріальні тіла складаються з молекул, що перебувають у безперервному й хаотичному русі.

Матерія — речовина, що складається з неподільних частинок.

Взаємодія тіл здійснюється згідно з принципом далекодії (безпосередньої дії тіл на відстані), миттєво на будь-якій відстані (закон всесвітнього тяжіння, закон Кулона), або при безпосередньому контакті (сили пружності, сили тертя).

Простір — порожнє вмістилище тіл.

Увесь простір заповнює невидима невагома «рідина» — ефір.

Час — проста тривалість процесів. Час абсолютний — такий, що розглядається й оцінюється поза зв'язком з навколишнім середовищем.

Картина світу будувалася на досить очевидних і простих механічних аналогіях. Увесь рух відбувається на основі законів механіки Ньютона, усі спостережувані явища й перетворення зводяться до механічних переміщень і зіткнень атомів і молекул. Світ виглядає як колосальна машина з величезною кількістю деталей, важелів, коліс. Так само пояснюються і процеси, що відбуваються в живій природі. Механіка описує всі процеси мікросвіту та макросвіту. У механічній картині світу панує вчення про загальний закономірний зв'язок і причину обумовленість усіх явищ у природі.

Механіка й оптика становили основний зміст фізики до початку XIX ст. І в повсякденній практичній діяльності людей головні висновки класичної механіки не приводили до протиріч із дослідними даними. Проте пізніше, з розвитком засобів вимірювання, стало відомо, що при вивченні багатьох явищ, наприклад небесної механіки, необхідно враховувати складні ефекти, пов'язані з рухом частинок зі швидкостями, близькими до швидкості світла. З'явилися рівняння спеціальної теорії відносності, що важко вміщуються в рамки механічних уявлень. Вивчаючи властивості мікрочастинок, учені з'ясували, що в явищах мікросвіту частинки можуть мати властивості хвилі.

Виникли труднощі при поясненні електромагнітних явищ (випускання, поширення й поглинання світла, електромагнітної хвилі), які не могли бути пояснені класичною ньютонівською механікою. Проте з розвитком науки механічна картина світу не була відкинута, а лише був розкритий її відносний характер. Механічна картина світу використовується й зараз у багатьох випадках, коли, наприклад, у явищах, що розглядаються нами, матеріальні об'єкти рухаються з невеликими швидкостями, і ми маємо справу з невеликими енергіями взаємодії. Механічний погляд на світ, як і раніше, залишається актуальним, коли ми споруджуємо будівлі, будуємо дороги й мости, проектуємо греблі та прокладаємо канали, розраховуємо крило літака або вирішуємо інші численні завдання, що виникають в нашому повсякденному людському житті.

Електромагнітна картина світу. У другій половині XIX ст. на основі досліджень в області електромагнетизму сформувалася нова фізична картина світу — електромагнітна. У її формуванні зіграли вирішальну роль дослідження, проведені видатними вченими Майклом Фарадеєм, Джеймсом Максвелом і Генріхом Герцем.

Майкл Фарадей, відмовляючись від концепції далекодії, вводить поняття фізичного поля, яке відіграє значну роль у подальшому розвитку науки і техніки (радіозв'язок, телебачення, супутниковий зв'язок). Джеймс Максвел розвиває теорію електромагнітного поля, а Генріх Герц експериментально відкриває електромагнітні хвилі. В електромагнітній картині світу весь світ заповнений електромагнітним ефіром, який може перебувати в різних станах. Фізичні поля трактувалися як стани ефіру. Ефір є середовищем для поширення електромагнітних хвиль і, зокрема, світла. Матерія вважається безперервною. Усі закони природи зводяться до рівнянь Джеймса Максвела, що описують безперервний рух матерії: природа не робить стрибків. Речовина складається з електрично заряджених частинок, що взаємодіють між собою за допомогою полів.

Робляться спроби звести механічний опис явищ до опису на основі теорії електромагнітного поля. Трактування явищ на основі електромагнетизму здається витонченим і закінченим. Усе різноманіття явищ



природи зведене до кількох математично строгих, хоча і дуже складних, співвідношень.

Електромагнітна картина світу розширюється, уточнюється й поглиблюється. Змінюються уявлення учених про простір і час. З'являються перші роботи Альберта Ейнштейна з теорії відносності. У наукових роботах зароджуються нові погляди на природу тяжіння, відмінні від тих, що розвивалися в механічній картині світу.

Учені виявляють «розширення» галактик, будують усе нові й нові моделі атома, прагнучи дізнатися, яка з них все-таки найближча до істини. Найбільш красивою й точною є планетарна модель атома, створена Ернестом Резерфордом. Саме вона стала відправною точкою для появи абсолютно нових поглядів на будову світу. Уже наприкінці XIX — на початку XX ст. експериментальні дані, отримані при вивченні мікро- й мегасвіту, різко розходилися з існуючими теоріями. Виникла необхідність створення абсолютно нової теорії — **квантової**. (Квант (від лат. quantum «скільки») — неділима порція якої-небудь величини у фізиці.)



Розвиток уявлень про природу світла. Першим зрозумів важливість ідеї квантування Альберт Ейнштейн, який у 1905 р. з квантових позицій пояснив фотоелектричний ефект (явище виривання електронів з поверхні металу під дією світла), за що йому було присуджено Нобелівську премію.

Фотоефект та інші експерименти міцно утвердили квантову (корпускулярну) теорію світла.

Проте класичні досліди Томаса Юнга та інших дослідників з вивчення оптичних явищ доводять хвильову теорію світла. Постає дилема: одні експерименти доводять, що світло поводить себе як хвиля, а інші — як потік частинок. Яку з теорій світла — хвильову чи корпускулярну — вважати визначальною? Для виходу із цієї ситуації данський фізик Нільс Бор запропонував *принцип доповнюваності*, згідно з яким для пояснення природи світла слід використовувати і корпускулярні, і хвильові властивості світла — як дві складові його природи, що доповнюють одна одну. Хвильові та квантові властивості світла не можна протиставляти. Властивості неперервності, характерні для електромагнітного поля світлової хвилі, не виключають властивостей дискретності, характерних для квантів світла — фотонів. (Квант світла — мінімальна порція світлової енергії, що локалізована в частинці, яку називають *фотон*.) Дане поняття ввів Альберт Ейнштейн, пояснюючи закони фотоефекту.

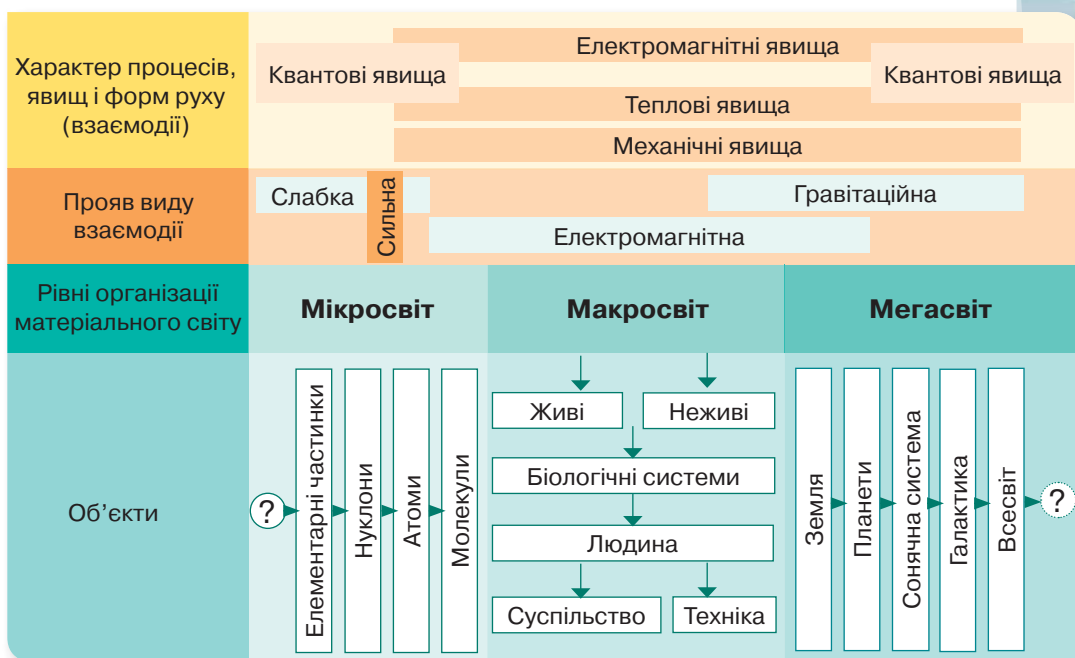
Таким чином, світло має електромагнітну природу і йому притаманні двоїсті квантово-хвильові властивості, саме цю двоїстість мають на увазі, коли говорять про *корпускулярно-хвильовий дуалізм* світла. У видимого світла квантові та хвильові властивості проявляються однаковою мірою. Для інших видів випромінювання спостерігається важлива закономірність: на малих частотах більшою мірою проявляються хвильові власти-

вості (наприклад, для радіовипромінювання), а на великих частотах — квантові (наприклад, рентгенівське випромінювання).

Сучасна квантово-польова фізична картина світу. На зміну механічній і електромагнітній картинах світу приходить квантово-польова. У квантово-польовій картині світу виникає нова концепція — квантово-хвильове поле, яке є найбільш фундаментальною й універсальною формою матерії, що лежить в основі усіх її проявів, як хвильових, так і корпускулярних. Основоположниками нової фізичної картини світу стали Макс Планк, Нільс Бор, Луї де Бройль, Ервін Шредінгер, Поль Дірак, Вернер Гейзенберг і багато інших не менш відомих і видатних учених.

Центральними поняттями нової картини світу стали поняття «квант енергії», «дискретні стани», «корпускулярно-хвильовий дуалізм».

За критерієм рівнів організації матерії виділяють фізику мікро-, макро- і мегасвіту. За характером процесів, явищ і форм руху (взаємодії) розрізняють механічні, електромагнітні, квантові та гравітаційні явища, теплові й термодинамічні процеси та галузі фізики, що відповідають їм: механіку, електродинаміку, квантову фізику, теорію гравітації, термодинаміку і статистичну фізику. На перше місце у вивченні явищ природи висунулися квантова механіка і квантова електродинаміка.



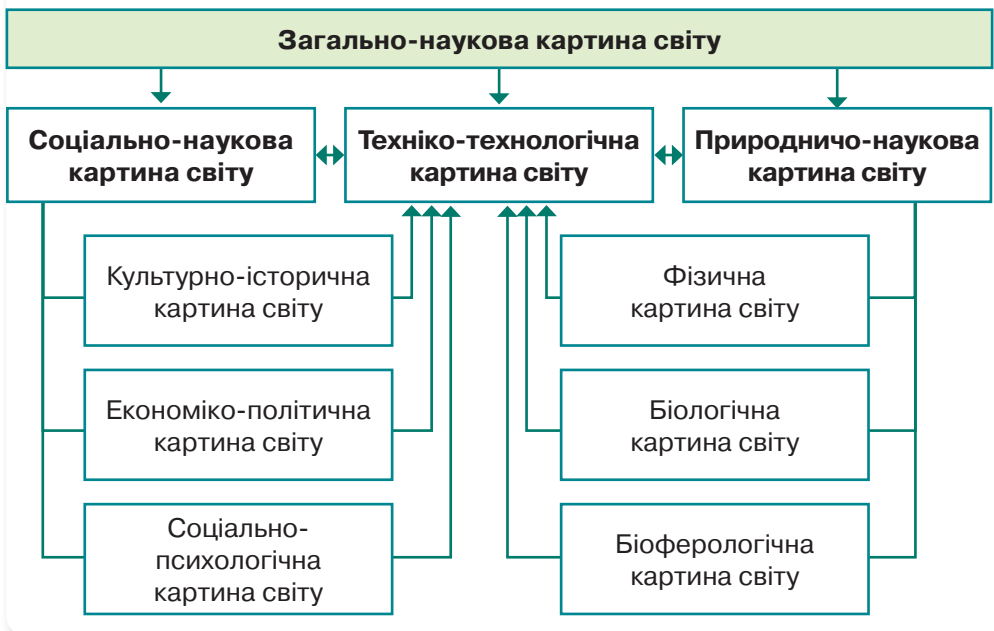
У квантово-польовій картині світу описуються чотири види фундаментальних силових взаємодій, виникають нові уявлення про матерію, рух, взаємодію, енергію, масу. Розглядаються, вивчаються та пояснюються явища, що залишалися загадковими в перших картинах світу. Вирішуються завдання, нерозв'язні для механічної й електромагнітної картин світу.



Ми знаємо, як влаштований мікросвіт до відстаней 10^{-17} м і мегасвіт до відстаней 10^{27} м. Ніколи ще ми не знали про природу так багато й точно. І електричний струм у напівпровідниках (дослідження якого надало нам сучасні інформаційні засоби зв'язку, комп'ютери); і надпровідність та нанотехнології (з якими зв'язують майбутнє цивілізації); і нові конструкційні матеріали (сучасна хімія — це квантова хімія); і джерела енергії, завдяки яким ми зберегли нашу біосферу придатною для існування людини й усіх організмів, та ще багато іншого — усе це розглядається й пояснюється квантово-польовою картиною світу. Крім того, розвиток квантово-польової картини світу ще раз продемонстрував нам важливість механічної та електромагнітної картин світу, вказавши на те, що вони вірно відбивали багато об'єктивних властивостей навколишнього світу, абсолютизуючи проте окремі його сторони.

Фізична картина світу — це фізична модель природи, що включає фундаментальні фізичні та філософські ідеї, фізичні теорії, найбільш загальні поняття, принципи й методи знання, що відповідають певному історичному етапу розвитку фізики.

Фізична картина світу є частиною загально-наукової картини світу.



Вплив фізики на суспільний розвиток та науково-технічний прогрес

І це все фізика. «Не буду вивчати фізику, вона така складна», «фізика мені не потрібна, я не планую вступати до технічних університетів», «обійдусь і без фізики — у мене є комп'ютер та Інтернет, і відповіді на складні питання я знайду там». Сподіваємося, що учнів, які так думають, серед вас немає. Ви завершуєте вивчати базовий курс фізики й уже сьогодні можете оцінити значущість впливу фізики як на ваше життя, так і на суспільний розвиток в цілому.

У сучасному світі значення фізики надзвичайно велике. Усе те, чим відрізняється сучасне суспільство від суспільства минулих віків, з'явилося в результаті застосування на практиці фізичних відкриттів.

Розвиток фізики приніс не лише фундаментальні зміни в уявлення про матеріальний світ. Відбуваються прогресивні зміни в суспільстві.

Імплантовані технології, зір як новий інтерфейс, кишеньковий суперкомп'ютер — це фантастика чи реальність? Чи здатні нанотехнології й роботехніка змінити уявлення людства про майбутнє?

Нанотехнологія сьогодні вже дозволила створити нові фізичні матеріали — наприклад, квантові точки, які є революційними електронними пристроями. З'являються більш ефективні комп'ютери й телевізори з високою роздільною здатністю екрана. А матеріал «графен» можна використовувати для створення різноманітних речей — від найлегших протезів до надпровідного дроту. Сучасна роботехніка — це не тільки роботи, що акуратно пилюються підлогу в квартирі. Це безпілотники й наземні роботи, що є незамінними у військовій галузі та мирному житті (наприклад, безпілотні кур'єри).

Хочете, щоб ваше майбутнє було пов'язано з новими відкриттями, що змінюють світ, — вивчайте фізику!





Генетика



Інтернет речей



Роботи



Штучний інтелект

Дрони



Бездротова електрика



Хмарні технології



Доповнена реальність

ТЕХНОЛОГІЇ МАЙБУТНЬОГО



3D принтер



Віртуальна реальність

Завдяки розвитку науки й інформаційних технологій люди стали ближчими, перебуваючи в єдиному інформаційному просторі. Тепер уже не здається, що Земля нескінченно велика й на її поверхні та в її надрах можна робити все що заманеться. Необдумані дії людини, озброєної досягненнями науки і техніки призводять до безповоротних і часто руйнівних наслідків для природи й самої людини.



Так, під час свого виступу на церемонії відкриття Центру з вивчення штучного інтелекту і майбутнього людства в Кембриджському університеті відомий британський фізик-теоретик Стівен Хокінг зробив невтішний прогноз щодо майбутнього всіх землян. За словами вченого, розвиток штучного інтелекту може призвести до катастрофічних результатів для людей, оскільки він має можливість удосконалити себе самостійно, а також здатний вступити в конфлікт із людьми. Відомий фізик підкреслив, що штучний інтелект буде або кращим, або гіршим з усього того, що коли-небудь траплялося на Землі.

ВИКОНУЄМО НАВЧАЛЬНІ ПРОЕКТИ

Виконуючи проект «ЛЮДИНА І ВСЕСВІТ»,

ви зможете оцінити роль і місце людини у світі, в якому відбуваються постійні зміни. Зможете переконатися, що фізика відкриває для вас багато таємниць природи, допомагає пояснити та зрозуміти явища, з якими ви стикаєтесь на кожному кроці. І те, що здавалось дивним і загадковим — стає зрозумілим і звичним.



Виконуючи проект «ФІЗИКА В ЖИТТІ СУЧАСНОЇ ЛЮДИНИ»,

ви зможете переконатися, що основу більшості сучасних технологій складають саме фізичні процеси. Головна мета фізиків — виявити й пояснити закони природи та навчитися їх використовувати в практичній діяльності людини.



Досліджуючи сучасний стан фізичних досліджень в Україні та світі, ви можете скласти ТОП-рейтинги найвизначніших відкриттів у фізиці, найпрогресивніших технологій, спрогнозувати розвиток технологій для майбутнього. Оцінити роль вітчизняних і закордонних учених-фізиків, лауреатів Нобелівської премії з фізики, порівняти роботу вчених-фізиків у різні історичні часи та скласти «портрет сучасного фізика».

Відповіді до вправ

Вправа 4

- 0,04 Тл
- 50 мН
- 1,25 Тл
- 52 мТл
- 0,8 Тл
- 0,4 мДж

Вправа 6

- 32 км/с
- $3,2 \cdot 10^{-13}$ Н
- 0,1 Тл

Перевірте себе

Рівень А (початковий)

- Г
- В
- В
- Г
- Б
- В
- Г

Рівень В (середній)

- Г
- Г
- В
- 1-Г, 2-А, 3-Б, 4-В

Рівень С (достатній)

- В
- А
- В
- Б

Рівень D (високий)

- 12,5 мТл
- 0,02 Тл

Вправа 8

- 8 хв 20 с
- 264 000 років

Вправа 9

- 22 м

Вправа 10

- 50°
- 45°
- 60°
- 30°

Вправа 11

- 65°
- Половині зросту людини
- На відстані 0,6 м від центра дзеркала
- 0,6 м

Вправа 12

- 4 м

$$6. \alpha = 60^\circ, \beta = 30^\circ$$

Вправа 13

- 0,6 м
- 3 дптр
- 0,2 м
- 0,5 м
- 5 дптр
- 12 см
- 10 см

Вправа 14

- 1256 лм
- 150 кд
- 1000 лм
- 60°
- 0,3 м
- $8 \cdot 10^4$ лк
- Стане в 3 рази більшим
- 12 лк

Перевірте себе

Рівень А (початковий)

- Г
- Б
- Б
- Г
- В
- Б

Рівень В (середній)

- Б
- 1-В, 2-Г, 3-Б, 4-А
- Г
- А

Рівень С (достатній)

- 34°
- 32 см
- 280 лм

Рівень D (високий)

- 0,97 м

Вправа 15

- 2,4 м/с
- 15 м/с і 5 м/с

Вправа 16

- 7565 м/с
- 680 м/с
- 2720 м
- 140 м

Вправа 17

- $1,5 \cdot 10^{19}$ Гц
- 6450 м
- 100 м і 10 000 м
- Кількість імпульсів 30, відстань 300 000 м
- 0,5 м

Перевірте себе

Рівень А (початковий)

- В
- А
- Б
- Б
- Б
- Г

Рівень В (середній)

- В
- В
- Б
- А

Рівень С (достатній)

- А
- Б
- Г

Рівень D (високий)

- В
- А

Вправа 18

- 19, 19, 20
- 12, 13
- Ва
- 15, 17
- N, Ar, Li, Po
- Li

Вправа 20

- 0,29
- 4 дня
- 25 000 000
- 305 с
- $4,3 \cdot 10^{-19}$ с⁻¹
- Для цезію в 53 рази більша ніж для радію

- 5,3 роки; 8 діб

- 270 діб

- $5 \cdot 10^{18}$ атомів

Вправа 21

- $8,3 \cdot 10^{10}$ Дж, 2,8 т
- 19 °С

Перевірте себе

Рівень А (початковий)

- А
- Г
- В
- Г
- В

Рівень В (середній)

- А
- В
- Б

Рівень С (достатній)2. $1,35 \cdot 10^{11}$ розпадів**Рівень D (високий)**

1. Радон

2. 8 діб, 10 діб

Вправа 22

1. 50 с

2. 10 м/с

3. 20 с

4. $0,5 \text{ м/с}^2$

5. 20 с

Вправа 23

1. 4 м/с

2. $v_x = 20 - 0,25 \cdot t$

5. 10 с

6. 54 м

8. $v = 0,8 \cdot t$, 6,4 м

9. 2 м/с, 8 м/с

10. а) $v_{1x} = 10 + 0,8t$ — прискорений;б) $v_{2x} = 2 - 2t$ — сповільнений, через 1 с

прискорений;

в) $v_{3x} = -4 + 4t$ — сповільнений, через 1 с

прискорений;

г) $v_{4x} = -1 - 12t$ — прискорений11. 8 м/с, $0,8 \text{ м/с}^2$, $-1,6 \text{ м/с}^2$, 15 с, 4 м/с

12. 2,6 м/с

13. 80 км

Вправа 242. 1 м/с^2

3. 2400 Н

5. 6 кН, 50 с, 375 м

6. 250 Н

7. 4 Н, 0, -2 Н

8. 150 Н

9. 3,2 кН

Вправа 262. $2 \cdot 10^{20}$ Н

3. у 4 рази, у 36 разів

Вправа 271. $4,4 \text{ м/с}^2$

2. 0,45 с, 0,05, 24 м/с

3. 28 м

4. 35 м

5. 30 м/с, 45 м

6. 2с, 3 м/с

7. 20 м

Вправа 28

1. 2 с, 3 м/с

2. 20 м

Вправа 29

3. 0,04

4. 36 с

5. 0,53

6. 220 Н, 20 Н

7. 20 Н, 0,04

Вправа 301. $16 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; $48 \text{ г} \cdot \text{м/с}$

2. 1 м/с у напрямку руху більшого тіла

3. на 0,04 м/с

4. $0,24 \text{ м/с}$ **Вправа 31**

1. 12 кДж, 66 %

2. 60 м

3. 200 кДж, 1000 кг

4. -200 кДж

5. 0,5 Дж

6. 26 кДж

7. 0,55 м

11. 2 кг, 4 м/с

12. Імпульс самоскида в 3 рази більший, а енергія — в 2 рази менша

13. 0,3 м

14. 1,8 кДж

Вправа 321. 2 с, 0,5 Гц, $\pi \text{ с}^{-1}$

2. 9 : 1

3. 18 см, 50 см

4. $\frac{T}{8}$; $\frac{3T}{8}$; $\frac{5T}{8}$; $\frac{7T}{8}$

5. 2,8 Дж, 3,8 м/с

6. 0,314 с

Перевірте себе**Рівень А (початковий)**

1. А

2. А

3. Б

4. Г

5. Г

6. 1-Г, 2-Д, 3-А, 4-Б

Рівень В (середній)

1. Г

2. В

3. Б

4. 1 м, 0,05 м

Рівень С (достатній)

1. 10,8 м

2. 250 МДж, 125 кН

3. 2,5 м, 7 м/с

4. 0,25 м

Предметний покажчик

 α -частинка 148, 156 β -частинка 156 γ -промені 157

Абсолютний показник заломлення 77

Активність радіонукліда 162

Антенa 137

Беккерель 161

Висота звуку 122

Вібрація 125

Відкритий коливальний контур 129

Власні (вільні) коливання 248

Генератор електричного струму 53

Гравітаційна взаємодія 215

Гравітаційна стала 216

Грей 186

Гучність звуку 122

Далекозорість 101

Детектування 137

Децибел 123

Дисперсія світла 84

Діамагнетика 13

Дійсне зображення 72

Діоптрія 73, 88

Довжина хвилі 116

Доцентрове прискорення 245

Другий закон Ньютона 208

Еквівалентна доза опромінення 187

Експозиційна доза опромінення 186

Електровимірювальні прилади	41	Повздожня хвиля	115
Електродвигун	40	Повне відбиття	79
Електромагніт	29	Поглинена доза опромінення	186
Електромагнітна взаємодія	129	Поперечна хвиля	115
Електромагнітна хвиля	130	Постулати Бора	151
Електромагнітне поле	129	Потенціальна енергія	241
Ефективна доза опромінення	188	Потужність дози опромінення	188
Закон відбиття світла	70	Правила радіоактивного зміщення	158, 159
Закон всесвітнього тяжіння	216	Правило Ленца	49
Закон заломлення світла	79	Правило лівої руки	35
Закон збереження і перетворення повної механічної енергії	242	Правило правої руки	24, 27
Закон збереження імпульсу	233	Правило свердлика	24, 27
Закон прямолінійного поширення світла	65	Прискорення	194
Закон радіоактивного розпаду	162	Прискорення вільного падіння	218
Закони освітленості	105	Протон	152
Замкнена (ізольована) система	232	Протонно-нейтронна модель ядра атома	153
Звукові хвилі (звук)	118	Пружинний маятник	247
Зіверт	187	Радар	139
Змінний електричний струм	53	Радіозв'язок	136
Ізотоп	153, 168	Радіоактивність	155
Імпульс сили	232	Радіолокація	138
Імпульс тіла	232	Радіонуклід	157
Індукційний електричний струм	49	Реактивний рух	236
Індукція магнітного поля	11	Резонатор	129
Інерціальна система відліку	206	Рівноприскорений прямолінійний рух	195
Кандела	103	Світло	59
Квант	264	Світловий потік	102
Кінетична енергія	240	Світловий промінь	64
Коефіцієнт розмноження нейтронів	172	Сила Ампера	34
Колайдер	45	Сила Лоренца	43
Короткозорість	100	Сила світла	103
Корпускулярно-хвильовий дуалізм	264	Сильна взаємодія	154, 265
Ланцюгова ядерна реакція	172	Слабка взаємодія	265
Лінза	86	Соленоїд	27
Лінії індукції магнітного поля	12	Спектр	83
Люкс	104	Стала радіоактивного розпаду	162
Люмен	102	Стерадіан	102
Магніти постійні	14	Сферичні дзеркала	73
Магнітне поле	10	Тесла	35
Магнітні аномалії	20	Точкове джерело світла	64
Математичний маятник	247	Третій закон Ньютона	214
Механічна робота	239	Уявне зображення	72, 88
Механічна хвиля	114	Феромагнетики	14
Модуляція	137	Фізична картина світу	266
Нейтрон	152	Фокусна відстань	88
Нуклід	153	Фронт хвилі	116
Оптична сила лінзи	88	Явище електромагнітної індукції	49
Освітленість	104	Ядерна реакція	171
Парамагнетики	14	Ядерний реактор	174
Період піврозпаду	161	Ядерні сили	154
Перший закон Ньютона	207	Ядерна модель атома	150

Періоди	Ряди	Групи													
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII						
1	1	H 1 Гідроген 1,0079								(H)	He 2 Гелій 4,0026	<i>Порядковий номер</i> <i>Символ елемента</i> Ca 20 Кальцій 40,08 <i>Назва елемента</i> <i>Відносна атомна маса елемента</i>			
2	2	Li 3 Літій 6,941	Be 4 Берилій 9,012	B 5 Бор 10,81	C 6 Карбон 12,011	N 7 Нітроген 14,0067	O 8 Оксиген 15,999	F 9 Флуор 18,998	Ne 10 Неон 20,180						
3	3	Na 11 Натрій 22,990	Mg 12 Магній 24,305	Al 13 Алюміній 26,982	Si 14 Силіцій 28,086	P 15 Фосфор 30,974	S 16 Сульфур 32,06	Cl 17 Хлор 35,453	Ar 18 Аргон 39,948						
4	4	K 19 Калій 39,098	Ca 20 Кальцій 40,08	21 Sc 44,956 Скандій	22 Ti 47,87 Титан	23 V 50,941 Ванадій	24 Cr 51,996 Хром	25 Mn 54,938 Манган	26 Fe 55,845 Ферум	27 Co 58,933 Кобальт	28 Ni 58,69 Нікол	— s-елементи — p-елементи — d-елементи — f-елементи			
	5	29 Cu 63,546 Купрум	30 Zn 65,38 Цинк	Ga 31 Галій 69,72	Ge 32 Германій 72,64	As 33 Арсен 74,922	Se 34 Селен 78,96	Br 35 Бром 79,904	Kr 36 Криптон 83,80						
5	6	Rb 37 Рубідій 85,468	Sr 38 Стронцій 87,62	39 Y 88,906 Ітрій	40 Zr 91,22 Цирконій	41 Nb 92,906 Ніобій	42 Mo 95,94 Молібден	43 Tc [98] Технецій	44 Ru 101,07 Рутеній	45 Rh 102,905 Родій	46 Pd 106,4 Паладій				
	7	47 Ag 107,868 Аргентум	48 Cd 112,41 Кадмій	In 49 Індій 114,82	Sn 50 Станум 118,71	Sb 51 Стибій 121,76	Te 52 Телур 127,60	I 53 Йод 126,904	Xe 54 Ксенон 131,29						
6	8	Cs 55 Цезій 132,91	Ba 56 Барій 137,33	57 *La 138,905 Лантан	72 Hf 178,49 Гафній	73 Ta 180,948 Тантал	74 W 183,84 Вольфрам	75 Re 186,207 Реній	76 Os 190,2 Осмій	77 Ir 192,22 Іридій	78 Pt 195,08 Платина				
	9	79 Au 196,967 Аурум	80 Hg 200,59 Меркурій	Tl 81 Талій 204,38	Pb 82 Плюмбум 207,2	Bi 83 Бісмут 208,980	Po 84 Полоній [209]	At 85 Астат [210]	Rn 86 Радон [222]						
7	10	Fr 87 Францій [223]	Ra 88 Радій 226,03	89 **Ac [227] Актиній	104 Rf [261] Резерфордій	105 Db [262] Дубній	106 Sg [263] Сиборгій	107 Bh [262] Борій	108 Hs [265] Гасій	109 Mt [266] Майтнерій	110 Ds [281] Дармштадтій				
	11	111 Rg [280] Рентгеній	112 Cn [285] Коперницій	Uut 113 [284] Унунтрій	Fl 114 [289] Флеровій	Uup 115 [288] Унунпентій	Lv 116 [293] Лівермерій	Uus 117 [294] Унунсептій	Uuo 118 [294] Унуноктій						
Вищі оксиди		R₂O	RO	R₂O₃	RO₂	R₂O₅	RO₃	R₂O₇	RO₄						
Леткі сполуки з Гідрогеном					RH₄	RH₃	H₂R	HR							
* Лантаноїди		58 Ce 140,12 Церій	59 Pr 140,908 Празеодим	60 Nd 144,24 Неодим	61 Pm [147] Прометій	62 Sm 150,4 Самарій	63 Eu 151,96 Європій	64 Gd 157,25 Гадоліній	65 Tb 158,925 Тербій	66 Dy 162,50 Диспрозій	67 Ho 164,93 Гольмій	68 Er 167,26 Ербій	69 Tm 168,93 Тулій	70 Yb 173,04 Ітербій	71 Lu 174,97 Лютецій
** Актиноїди		90 Th 232,038 Торій	91 Pa 231,036 Протактіній	92 U 238,029 Уран	93 Np [237] Нептуній	94 Pu [244] Плутоній	95 Am [243] Америцій	96 Cm [247] Кюрі	97 Bk [247] Берклій	98 Cf [249] Каліфорній	99 Es [252] Ейнштейній	100 Fm [257] Фермій	101 Md [258] Менделевій	102 No [259] Нобелій	103 Lr [260] Лоуренсій

Право для безоплатного розміщення підручника в мережі Інтернет має

Міністерство освіти і науки України <http://mon.gov.ua/> та Інститут модернізації змісту освіти <https://imzo.gov.ua>



ISBN 978-617-7485-28-4



9 786177 485284