

Пшенічка П.Ф., Мельничук С.В.

Фізика

для загальноосвітніх навчальних закладів

7 клас

Умовні позначки:



Творчі завдання



Вправа



Досліди



З історії науки



Тема для дослідження

ДОРОГІ ДРУЗІ!

Фізика – це дивовижна наука, яка дозволяє побачити в звичайних предметах і явищах приховану в них сутність, вона є основою техніки і всіх наук про природу. Чим займається фізика, ви зрозумієте, прочитавши вже перший параграф підручника. Ви дізнаєтеся також про найцікавіші й найважливіші відкриття, зроблені в галузі фізики за останні сто років і в останнє десятиріччя.

Ми пропонуємо вам кілька порад, як користуватися підручником.

Фізика передовсім – наука експериментальна. У підручнику описано багато цікавих і захоплюючих дослідів, які ви зможете провести самостійно вдома. Сподіваємося, це принесе вам велике задоволення!

Основний матеріал параграфів, на який необхідно звернути увагу, виділено **півжирним** шрифтом. У кінці параграфу є *творчі завдання* (для найбільш допитливих) і *вправи з усними та письмовими завданнями*. Якщо ви зумієте з ними впоратися, то це означає, що матеріал засвоєний добре.

Серед задач трапляються не тільки прості, але й середньої складності і навіть досить складні. Для їх розв'язання необхідно ще раз уважно перечитати текст параграфу, а можливо і скористатися довідниками та поміжувати. Складні задачі і розділи теорії відмічено зірочкою*.

Життя набагато цікавіше за будь-який підручник! Ми зумисне включили до нього теми для досліджень, які допоможуть вам зрозуміти, що таке справжні фізичні проблеми.

Мова сучасної фізики досить складна. Тому в кінці підручника розміщено словник фізичних термінів, який допоможе їх зрозуміти і засвоїти.

Успіхів вам!

– Як Ви стали фізиком?

– У школі мені подобались і фізика, і математика; я захоплювався також хімією. Любив експериментувати. Дуже цікавився електронікою. Разом із товаришами ми збирали телефони, підсилювачі. Саме захоплення електронікою зробило вирішальний вплив на мій вибір, і я став фізиком.

– Чи радите Ви молодим людям здобувати фізичну освіту, ставати фізиками?

– Звичайно. Фізика вивчає фундаментальні явища. Фізична освіта дає змогу легко перекваліфікуватися, якщо виникне потреба перейти в інші галузі досліджень, наприклад у біологію чи хімію. Фізичні закони мірності використовуються всюди...

*Інтерв'ю з лауреатом Нобелівської премії в галузі фізики
Рудольфом Мессбауером, автором відкриття,
названого його ім'ям – «Ефект Мессбауера»
(Журнал «Квант», 1983 рік, № 3, с. 6).*



Як бачите, до фізики можна йти різними шляхами. Хтось захоплюється електронікою або створенням моделей літаків, ракет чи автомобілів. Уяву інших вражають науково-фантастичні романи. Проте досягнення фізики за два останні століття перевершили найсміливіші фантазії письменників. Майже все навколо нас так чи інакше має відношення до фізики – це наука з глобальними інтересами – від найменших частинок матерії до величезного Всесвіту.

***Ласкаво просимо
у світ фізики!***



Розділ I

*Фізика як природнича наука.
Методи наукового пізнання*

§ 1. ФІЗИКА ЯК ФУНДАМЕНТАЛЬНА НАУКА ПРО ПРИРОДУ. МЕТОДИ НАУКОВОГО ПІЗНАННЯ

Що вивчає фізика

Фізика – це наука, що вивчає найпростіші і разом з тим найзагальніші властивості та закони руху об'єктів навколишнього світу.



Мал. 1.1.
Мікроскоп

Фізиків цікавить з чого все складається, яке походження світу в якому ми живемо, що чекає наш світ в далекому майбутньому і яка суть спостережуваних нами явищ. Власне кажучи, це цікавить кожного з нас.

Слово «фундаментальний» означає «основний», недаремно основу будинку називають фундаментом. Коли кажуть, що **фізика – це фундаментальна наука**, то мають на увазі, що цю науку цікавлять основи основ – її **інтереси простираються від найменших частинок речовини, таких як атоми, протони, нейтрони, електрони, нейтрини, кварки... до найбільших утворень – планет, зірок, чорних дір, галактик, квазарів...** Для цих досліджень створені різного типу і призначення прилади, від мікроскопів (мал. 1.1) до телескопів (мал. 1.3).

Як фізики вивчають природу. Фізичні явища

Ви мабуть давно помітили, що світ навколо нас постійно змінюється. Яблука з дерева падають вниз, а кулі, наповнені гелієм піднімаються вгору. **Зміни в природі називають явищами.**

Події відбуваються у певному порядку, тобто з бігом часу: спочатку ми, наприклад, бачимо блискавку (мал. 1.2), а потім чуємо грім. Коли вас зацікавило якесь явище, ви повинні собі задати питання: «Чому так відбувається, в чому тут причина?»

Явища мають різну природу. Падіння яблука і політ повітряної кулі – це механічний рух. Грім – це звукова хвиля, а блискавка – це світло, електрика та багато інших супутніх явищ. Світло, як і звук, має хвильову природу, але ці хвилі суттє-



Мал. 1.2.
Явище блискавки

во відрізняються. Звук – це механічна хвиля, яка поширюється в певному середовищі – твердому, рідкому чи газі. Світло – це електромагнітна хвиля, яка може поширюватися навіть у вакуумі. Швидкість світла у вакуумі (300 000 км/с) приблизно в 900 000 разів більша за швидкість звуку в повітрі (близько 330 м/с).

Фізика оснований на фактах, отриманих в результаті спостережень. Спостереження часто бувають випадковими, але факти добувають в результаті планомерно проведених експериментів, використовуючи фізичні прилади і проводячи вимірювання. Добуті факти потрібно пояснити – так з'являються припущення, які в науці називають гіпотезами. Перевірені багатьма дослідниками гіпотези стають теоріями.

Фізики вивчають явища природи за допомогою фізичних приладів і пояснюють їх за допомогою фізичних теорій.

Бачити спільне і відмінності

Допитливим хочеться все знати, але як цього досягти, коли неможливо запам'ятати навіть частину фактів з енциклопедії? Так, знати все – неможливо, але можна зрозуміти дуже багато речей за допомогою теорії. Хороша теорія при допомозі небагатьох принципів пояснює величезний обсяг явищ і фактів.

Однією з ознак творчого розуму є здатність помічати подібне і відмінності при порівнянні різних явищ. Відомий англійський фізик Ісаак Ньютон, спостерігаючи за падінням яблука, зумів зв'язати це явище з обертанням Місяця навколо Землі, а Землі – навколо Сонця. В результаті йому вдалося відкрити один з найбільш знаменитих фізичних законів – закон *универсального тяжіння*. Сила тяжіння керує не тільки падінням тіл і Сонячною системою, але й цілими скупченнями зірок – галактиками, а також скупченнями галактик.

Таким чином всього один закон поставив на місце тисячі різних явищ, об'єднавши їх в систему.

Спостерігаємо за небом

Коли ми дивимося на зоряне небо, нас вражає грандіозність і величність Космосу. Люди спостерігають за небом уже багато тисячоліть, частково з цікавості, а в основному із практичних потреб, і займаються цим астрономи. Але пояснили і по-справжньому зрозуміли побачене саме фізики.

Сонце – найближча до нас зоря – це розжарена газова куля, діаметр якої приблизно 1,5 млн. км, а наша планета знаходиться від неї на відстані 150 млн. км. Температура на «поверхні» Сонця досягає 6000 градусів,



Мал. 1.3.

Аматорський телескоп

а в центрі вона становить уже 15 млн. градусів. При таких температурах відбуваються *термоядерні реакції*, які дають можливість зорі випромінювати енергію впродовж десятків мільярдів років. Звіди ж усе це стало відомим?!

Фізичні прилади в астрономії. Об'єкт – світло

Фізичні прилади широко використовуються вченими інших спеціальностей. В результаті взаємодії фізики і астрономії виникли нові науки – космічна фізика та астрофізика.

Виявляється, що світло несе значну інформацію про зорю: а) її температуру; б) наближається вона до нас, чи віддаляється; в) швидкість руху і г) з яких речовин вона складається.

Фізичні прилади, встановлені на телескопах дозволяють виміряти усі ці фізичні величини і визначити точність цих вимірювань. Перший лінзовий телескоп побудував італійський фізик Галілео Галілей, а перший дзеркальний телескоп – англійський фізик Ісаак Ньютон.

Фізики навчилися розшифровувати інформацію, що її приносить не тільки видиме світло, а й невидиме інфрачервоне та ультрафіолетове світло, а також радіохвилі та рентгенівські і гамма-промені (які, до речі, також поширюються зі швидкістю світла).



Мал. 1.4. Галактика М 31 знаходиться так далеко, що світло від неї йде до нас приблизно 2,8 млн. років (за одну секунду світло долає 300 000 км). Це одне з найближчих до нас зоряних скупчень, і назва Галактика – Молоцький шлях (Galaxy – лат. «малого») – дуже на неї схожа

Галактики

Сучасні телескопи (мал. 1.5) дають змогу бачити зоряні системи – галактики, – які знаходяться на величезних відстанях від нас. На малюнку 1.3 зображено фотографію сусідньої з нами галактики М 31, яка спостерігається в сузір'ї Андромеди.

В ясну погоду темної ночі на небі можна бачити світлу смугу, що тягнеться через увесь небосхил – Чумацький шлях – скупчення такої вели-



Мал. 1.5.
Великий телескоп
Кримської астрофізичної
обсерваторії

чезної кількості зірок, що наше око їх не розрізняє. Це вид зсередини на Нашу Галактику (або Молочний Шлях), яка подібна до М 31 і нараховує близько 200 млрд. зір та має діаметр 100 000 світлових років (світловий рік – це відстань, що її проходить світло за один рік). Цей своєрідний зоряний диск робить один оберт за 250 млн. років. Наша Сонячна система (наше Сонце і планети, які обертаються навколо нього) розташована досить далеко від центра Галактики (близько 35 000 світлових років).

Відстань від найвіддаленіших галактик до нас світло долає приблизно за 14 млрд. років. Це означає, що ми бачимо їх такими, якими вони були мільярди років тому. Таким чином, потужний телескоп дає змогу заглянути в минуле Всесвіту і відіграє роль своєрідної машини часу.

Підведемо підсумки

- При вивченні явищ навколишнього світу фізики роблять досліді й обчислення, на основі яких створюються фізичні теорії.
- Фізики навчилися отримувати і передавати інформацію за допомогою світла та радіохвиль.
- Отримані фізиками знання дають нам змогу розуміти навколишній світ і сприяють прогресу людства.



Теорчі завдання

- 1.1. Уважно розгляньте мал. 1.2. Скільки запитань ви зможете задати про явище блискавки, зображене на малюнку?
- 1.2. Де знаходяться найбільші у світі телескопи? Які їх розміри й характеристики?
- 1.3. Що спільного і чим відрізняються видиме світло та інфрачервоне і ультрафіолетове світло?
- 1.4. Яка основна відмінність телескопів, сконструйованих двома видатними фізиками, Ньютоном та Галілеєм?



Вправа 1

1. Які а) найменші, та б) найбільші об'єкти досліджує фізика?
2. Наведіть приклади фізичних приладів.
3. Для яких потреб використовують у фізиці прилади?
4. Наведіть прилади: а) механічних, б) звукових, в) теплових, г) електричних та д) світлових явищ.

5. Яка природа світла?
6. Як учені визначають склад зір, їх температуру і швидкість?
7. Назвіть декілька різновидів телескопів, якими досліджують Всесвіт.
8. Чому телескоп можна назвати своєрідною «машиною часу»?
9. Який фізичний закон «керує» падінням тіл і рухом планет?
10. З якою швидкістю поширюється світло?
11. Яку відстань називають «світловим роком»?
12. Яка відстань в кілометрах від нас до Сонця?
13. Яка температура на а) поверхні та б) в центрі Сонця. в)* Чому слово «поверхня» в тексті параграфу взяте в лапки?
14. Що собою являє Чумацький шлях?
15. Скільки зір налічує наша Галактика?
16. Як далеко від нас знаходиться «край» Всесвіту?
17. Чому ми спочатку бачимо блискавку, а тільки потім чуємо грім?
18. У скільки разів відстань від Землі до Сонця більша за діаметр Сонця?
19. Обчисліть, яку відстань в кілометрах проходить світло за а) одну хвилину, б) одну годину, в) одну добу, г)* один рік?
20. У скільки разів Сонце більше за Землю?
21. Виразіть швидкість світла в м/с.
- 22*. Чому телескопи будують високо в горах, або виносять за межі атмосфери?
- 23*. На яку відстань від Землі вже поширилися у космос сигнали наших радіостанцій?
- 24*. Чому, коли ми дивимися вночі на зоряне небо, воно здається схожим на сферичний купол? Так і кажуть – «небесна сфера».

§ 2. ЗВ'ЯЗОК ФІЗИКИ З ІНШИМИ НАУКАМИ

Фізика – природничу наука



Мал. 2.1.
Повітряна куля
піднімається вгору

Слово «фізика» походить від грецького «фізіс» – *природа*, тобто **фізика – це наука про природу**. Фізика пояснює, наприклад, чому небо вдень синє, а вночі – чорне, звідки беруться кольори в райдуги, чому більшість предметів падають вниз, а деякі – такі як повітряна куля, наповнена гелієм – піднімаються вгору (мал. 2.1).

Хімія, біологія, геологія, астрономія також вивчають природу і разом з фізикою називаються природничими науками. Проте фізика – головна серед них, бо вона є основою техніки і технології. При будівництві споруд (мостів, веж, будинків), машин (автомобілів, літаків, кораблів, ракет), створенні інтегральних схем для комп'ютерів використовують закони фізики (мал. 2.2-4).

Чому важливо знати фізику

Навіщо вивчають фізику? В першу чергу – це цікава й захоплююча наука. Вона дає можливість розуміти навколишній світ, привчає до логічного мислення й розвиває творчі здібності.

Найбільші відкриття в біології – генна інженерія, клонування, розшифрування будови молекули ДНК, яка передає код спадковості, – були б неможливі без таких фізичних приладів, як рентгенівські апарати, ультрацентрифуги, холодильні установки, електронні мікроскопи та багато інших.

Цікаво, що існування молекули ДНК задовго до її відкриття передбачили австрійський фізик Ервін Шредингер та американський фізик українського походження Георгій Гамов.

Лазерні прилади та апарати нічного бачення служать військовим, а лазерні ножі – лікарям. Лазерні шоу прикрашають свята (мал. 2.5).

Особливо важливою для життя суспільства є роль фізики у створенні нових джерел енергії: від батарейок і електрогенераторів до атомних та термоядерних станцій.

Бурхливий розвиток фізики у ХХ ст., спричинив появу нових наукових дисциплін, таких як: *хімічна фізика і фізична хімія, біофізика, біоенергетика, біоніка та інженерна генетика, астрофізика, космологія та космічна фізика, геофізика, медична фізика...*

Фізика – основа техніки і технології

Комп'ютерами сьогодні користується кожен, від школяра й бухгалтера до інженера і науковця. *Палвою сучасних комп'ютерів ми завдячуємо дослідженням фізиків у галузі напівпровідникових матеріалів та нанотехнологій.* Те, що фізика вже давно проникла у вироб-



Мал. 2.2.
Міст Патона



Мал. 2.3.
Корабель на повітряній подушці може вийхати на берег



Мал. 2.4.
Інтегральні схеми



Мал. 2.5.
Лазерне шоу



Мал. 2.6.
Фізика в побуті

телефони продовжать роботу поки не закінчиться термін дії батарейок та акумуляторів, але ви ні з ким не з'єднаєтеся, бо вимкнуться базові радіостанції. Припиниться подача води і газу через зупинку електронасосів...

Фізика – обчислення і розрахунки

Дуже важливим для фізика є вміння оцінювати і порівнювати в числовому вигляді різні явища (мал. 2.7). Наприклад, люди подорожують щоразу швидше, використовуючи сучасні потяги та авіалайнери. Швидкість автомобіля на міській дорозі становить 20 м/с (0,02 км/с, 72 км/год.), а швидкісні потяги долають відстань зі швидкостями 150–300 км/год. Швидкість сучасного літака 900 км/год., тобто трохи менша від 0,25 км/с, а швидкість космічної станції становить 8 км/с, тобто у 32 рази більша. Проте найбільшу в природі швидкість має світло.

Цікаво, що на відміну від автомобіля чи літака, світло у вакуумі не може рухатися з якоюсь іншою швидкістю, ніж 300 000 км/с. Цей дивовижний факт став остаточно зрозумілим у 1905 р. і взятий за основу для фізичної теорії, яка докорінно змінила уявлення людей про такі звичні для нас поняття, як простір і час. Колись у віддаленому майбутньому побудують ракети з лазерними двигунами, які рухатимуться майже зі швидкістю світла. Але цікаво, що вже сьогодні побудована машина (колайдер), яка здатна рухати частинки (протони) практично зі швидкістю світла.

Щоб розуміти фізику, треба навчитися користуватися вимірювальними приладами, робити обчислювання і розрахунки. Не може бути чіткого розуміння того, що означає швидкість 20 м/с, поки

ництво, техніку, медицину, побут та індустрію розваг, зайвий раз підтверджує – знання фізики можуть знадобитися кожній людині, особливо майбутнім інженерам, науковцям, хімікам, військовим, біологам і лікарям.

Чи замислювалися ви, скажімо, над тим, яку важливу роль відіграє в нашому житті електротехніка й електроніка? Якщо станеться аварія в електромережі, то ми опинимося в темряві, перестануть працювати телевізор, комп'ютер, лазерний програвач, холодильник і прилади, в яких є електродвигун (мал. 2.6). Мобільні



Мал. 2.7.
Потужні суперкомп'ютери

ми не зрозуміємо, що таке 1 м і 1 с, як і чим вимірюють довжину і час та чому їх вимірюють саме в таких одиницях.

Підведемо підсумки

- Фізика – універсальна наука, фізичними приладами і теоріями користуються інші науки.
- Фізика – основа техніки і технології. Завдяки новим матеріалам і джерелам енергії відбувається прогрес.
- Фізичні теорії пояснюють навколишній світ і розширюють наш світогляд.



Теорчі завдання

2.1. Ми є свідками переходу від ламп розжарювання до газосвітних ламп («економок») і далі до світлодіодних джерел. Які переваги мають нові джерела світла? Напишіть невеличкий реферат на цю тему.

2.2. Чим принципово відрізняється світло лазера від світла інших джерел?



Тема для дослідження

2.1. Падіння важких тіл вниз і підймання повітряних куль вгору здаються, на перший погляд, різними за природою явищами. Встановіть приховану спільну причину цих явищ.



Вправа 2

1. Перелічіть три апарати, які можуть літати в повітрі.
2. Перечисліть природничі науки, які ви знаєте.
3. Як розшифровується назва молекули ДНК?
4. Наведіть приклади використання фізичних винаходів в інших науках та галузях техніки.
5. Чому у фізиці важливо робити обчислення і розрахунки?
5. Перечисліть фізичні пристрої, якими ви користуєтеся вдома, на вулиці та в школі.
6. У скільки разів швидкість світла більша за швидкість звуку?
7. Як називають пристрій, який дає змогу бачити: а) дуже віддалені об'єкти; б) дуже малі предмети; в) вночі; г) крізь стіни?
8. У скільки разів швидкість автомобіля 72 км/год. більша за швидкість спринтера 10 м/с?
9. Чому в школі й установах користуються переважно лампами денного світла?
10. Як створені фізиками лазери використовують: а) в медицині, б) у військовій справі, в) в індустрії розваг?
11. Назвіть джерела світла, які не наведені в даному параграфі.

§ 3. ПОЧАТКОВІ ВІДОМОСТІ ПРО БУДОВУ РЕЧОВИНИ. РЕЧОВИНА І ПОЛЕ

Згідно сучасних уявлень, оточуючий нас світ складається з матерії, яка поділяється на речовину і поле.

Речовина складається з атомів, які в свою чергу складаються з електронів, протонів і нейтронів.

Поле здійснює передачу взаємодії між частинками, з яких складається речовина. Поле діє на відстані і його не видно. Але, наприклад, якщо ми підстрибнемо, то *гравітаційне поле* поверне нас назад.

Історія ідеї про неподільні атоми

Деякі мислителі Стародавньої Греції, наприклад, Демокрит (V вік до н. е.) висловили гіпотезу (здогад) про те, що речовини, з яких складаються оточуючі тіла, самі складаються з невидимих маленьких частинок. **Тобто речовина не суцільна, а має «зернисту» структуру і поділяється на найпростіші складові – атоми, які вже далі неможливо поділити («атомос» з грецької – *неподільний*).** Можливо ця ідея була запозичена з досвіду будівництва, адже різноманітні за формою споруди побудовані всього з кількох різновидів цегли.

На початку XX ст. атомарна гіпотеза була нарешті математично доведена Альбертом Ейнштейном та Маріаном Смолуховським, і експериментально обґрунтована Жаном Перреном.

Як бачите, для встановлення того «простого» факту, що мільйони різних речовин складаються лише з сотні різного «сорту» атомів, знадобилося близько 2500 років.

Електричне, магнітне і гравітаційне поле

В стародавній Греції вже знали про властивість бурштину, натертого шерстю, притягувати мілкі предмети. Бурштин грецькою – «електрон». Знали також про властивість магніту притягувати залізо (*мал. 3.3*).

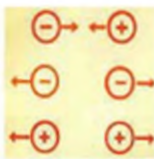
Якщо сухе волосся причесати гребінцем, то можна почути потріскування – це волосся і гребінець наелектризувалися і між ними проскакують невеликі іскорки, які в темноті можна навіть побачити. Електричні заряди бувають двох видів: позитивні і негативні. Заряди протилежного знаку притягуються, заряди одного знаку – відштовхуються (*мал. 3.2*). Взаємодія між зарядженими тілами передається через електричне поле.

Магніт має два полюси – північний та південний (*мал. 3.4*). Однакові полюси відштовхуються, протилежні – притягуються. Взаємодія між магнітами, чи магнітом і залізом, передається через магнітне поле. Англійський фізик Майкл Фарадей придумав спосіб «побачити» магнітне поле. Для цього потрібно накрити магніт листом цупкого паперу (*мал. 3.5*) і сипати з висоти 20-30 см залізні опурки. Досить скоро стане помітним певний візерунок. «Ланцюжки» утворені опурками називають

«силовими лініями» магнітного поля. Подібні лінії можна побачити і в електричному полі, але аналогічний дослід зробити важче.



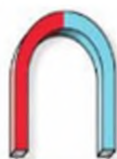
Мал. 3.1.
Наелектризований гребінець притягує дрібні предмети.



Мал. 3.2.
Заряди протилежного знаку притягуються, заряди одного знаку – відштовхуються.



Мал. 3.3.
Магніт притягує залізні предмети.



Мал. 3.4.
Магніт має два полюси – північний і південний.



Мал. 3.5.
Магнітне поле можна «побачити» за допомогою залізних ошукрок.

Земля має магнітне поле, вздовж силових ліній якого встановлюється стрілка компаса, вказуючи своїм північним полюсом на Північ (мал. 3.6).

Як би високо ми не підстрибували, поле тяжіння Землі (його ще називають гравітаційним) нас поверне назад. Властивість полів діяти на відстані завжди дивувала людей і спонукала їх робити різні цікаві досліди з електрики і магнетизму.

Кидаючи м'ячик вгору, вниз, вперед чи під кутом до горизонту, або стрибаючи на сноуборді, можна дізнатися багато цікавого і про поле тяжіння (мал. 3.7).

Атоми складаються з ядра і електронів

Атоми виявилися не такими вже й неподільними. У 1911 р. міжнародній групі вчених під керівництвом англійського фізика Ернеста Резерфорда вдалося в результаті складних експериментів встановити, що в центрі атома є маленьке ядро, в якому зосереджена майже вся маса атома. На краю атома по електронних оболонках обертаються електрони (мал. 3.8), подібно до того як планети обертаються навколо Сонця. Ядро атома складається з прото-



Мал. 3.6.
Стрілка компаса вказує на північ.



Мал. 3.7.
Пале тлужиння тримає нас біля поверхні Землі.



Мал. 3.8.

Планетарна модель атома.

нів та нейтронів і заряджене позитивно. Електрони на малюнку умовно позначені більшими кружечками, протони і нейтрони – червоними і синіми кружечками.

Протони мають позитивний електричний заряд (+), електрони – негативний (-). Нейтрони електричного заряду не мають – вони нейтральні. А оскільки заряди протилежного знаку притягуються, то електрони не покидають атом, поки їх звідти, так би мовити, не вибивають. Тобто атоми досить міцні і зруйнувати їх не так просто.

Стійкість атома забезпечується дією електричних сил. Уперше теорію, яка добре описувала властивості найпростішого з атомів – атома Гідрогену, створив датчанин Нільс Бор. Пізніше за допомогою квантової фізики вдалося зрозуміти властивості й складніших атомів.

Прості і складні речовини

Прості речовини складаються виключно з атомів одного хімічного елемента, наприклад: усі метали (але не сплави), а також, наприклад, кисень, водень, гелій.

До складу складних речовини входять атоми різних елементів.

**Ядро атома складається з нейтронів і протонів*

Протони і нейтрони в ядрі взаємодіють при посередництві ядерного поля і утримуються ядерними силами, які в ядрі приблизно у 200 разів сильніші за електричні.

Числові значення електричних зарядів протона й електрона однакові, і цей їх заряд називають елементарним. Він є найменшим електричним зарядом, що існує в природі у вільному стані.

Число протонів у ядрі дорівнює номеру хімічного елемента в таблиці Менделєєва (таблиця 1.1 в додатку 1). Число електронів на орбітах дорівнює числу протонів у ядрі, тобто в цілому атом нейтральний (позитивний заряд протонів нейтралізується негативним зарядом електронів).

Маса протона приблизно така сама, як і маса нейтрона, тоді як маса електрона майже у 2000 разів менша.

**Електричне поле і хвильова природа матерії*

Заряджені частинки взаємодіють при посередництві електричних і магнітних полів, а ядерні частинки (протони і нейтрони) – через ядерне поле. Світло і радіохвилі також мають польову природу.

Планетарна модель, схематично зображена на (мал. 3.8) дещо спро-

щусь будову атома. Розрахунки показали, що електрон в атомі Гідрогену повинен за одну мільйонну долю секунди зробити мільярд обертів навколо ядра, тобто в прийнятному для нас масштабі часу електрон мав би майже одночасно перебувати у всіх точках своєї траєкторії.

Квантова механіка уточнила уяву вчених про атом. Електрони атомних оболонок згідно з новою теорією вже більше нагадують хвилі і утворюють так звану електронну хмару. На (мал. 3.9) синім кольором зображена область електронної хмари, де ймовірність перебування електронів найбільша, а стара орбіта – це просто місце, де електрони бувають найчастіше. Взаємодія ядра і електронної хмари в атомі здійснюється через електричне поле, яке по своїй силі в багато разів перевищує поле блискавки (мал. 3.10).

Цікаво знати. Розмір найменшого, найлегшого і найпоширенішого у Всесвіті атома Гідрогену становить одну десятимільярдну долю метра ($1 \cdot 10^{-10}$ м). Розмір ядра атома приблизно в 10 000 разів менший за розмір атома. Між ядром атома і електронними оболонками вакуум, тобто пустота, але в ній діє електричне поле.



Мал. 3.9.
Всередині атома діє електричне поле.



Мал. 3.10.
Блискавка утворюється сильним електричним полем.

Підведемо підсумки

- Матерія складається з речовини і поля. Речовина складається з атомів, а поле – ні.
- Атоми складаються з ядра, в якому знаходяться протони та нейтрони, і електронних оболонок.
- Електрони і протони заряджені і взаємодіють при посередництві електричного поля.
- Ядерні частинки (протони і нейтрони) скріплені ядерним полем.
- Світло і радіохвилі мають електромагнітну природу.



Теорчі завдання

3.1. Стародавній мислитель Лукрецій Кар (? вік до нашої ери) стверджував у своїй поемі «Про природу речей», що «існують тільки атоми і пустота». Насільки він був правий і в чому він, на вашу думку, помилявся?

3.2. Чим відрізняються хімічні елементи, що входять до складу таблиці Менделєєва?



Вправа 3

1. З чого складається речовина?
2. З чого складаються атоми?
3. З яких частинок складаються атомні ядра?
4. Які сили діють між: а) протонами, б) електронами, в) протонами і електронами?
5. Чому стрілка компаса вказує на північ?
6. Чим відрізняється поле від речовини?
7. Як можна «побачити» магнітне поле?
8. Яке поле «склеює» протони і нейтрони в ядрі?
9. Чому протони не розлетяться з ядра атома, адже вони мають однаковий електричний заряд і відштовхуються?
10. Чим відрізняються різні речовини між собою?
11. Які об'єкти мають електромагнітну природу?
12. У скільки разів один метр більший за атом Гідрогену?
13. Чим схожі і чим відрізняються протони і нейтрони?
14. У скільки разів атом Гідрогену більший за своє ядро?
15. Яка наука пояснила будову складних атомів?
16. Який вид матерії знаходиться між ядром атома і електронними оболонками?
17. Що спільного між полями різної природи (гравітаційним, електричним, магнітним, ядерним)?
18. Як взаємодіють за допомогою електричного поля (притягуються чи відштовхуються): а) два електрони, б) протон і електрон, в) два протони?
- 19*. У скільки разів (точно) маса протона більша за масу електрона?
- 20*. Чи можна точно вказати розміри атома?
- 20*. Чи діють ядерні сили між електронами?

§ 4. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНОГО ВЧЕННЯ. ВЛАСТИВОСТІ ТІЛ

Основні положення молекулярно-кінетичної теорії (МКТ)



Мал. 4.1.

Графіт і алмаз складаються
з однакових атомів

Багато хто з учених вважає найбільшим відкриттям в історії цивілізації доведення того факту, що речовини складаються з атомів. Результат тисячолітніх роздумів і досліджень стосовно будови речовини можна виразити одним реченням: **усі тіла складаються з атомів, які неперервно та безладно рухаються і взаємодіють між собою.**

Слово «кінема» з грецької – рух. Атоми ніколи не припиняють свого руху, чим більша температура тіла, тим швидше рухаються атоми. При зменшенні температури швидкість атомів зменшується. Проте немає такої низької температури, при якій би рух атомів повністю припинився. Друга характерна ознака – атоми рухаються безладно.

Користь від знання МКТ надзвичайна. Наприклад, відомо, що графіт і алмаз (діамант) складаються з одних і тих самих атомів Карбону (мал. 4.1), а відрізняються за своїми властивостями дуже сильно, графіт м'який, а діамант – надзвичайно твердий. Коли дослідники зрозуміли будову цих речовин, стало ясно, як можна із дешевого графіту зробити алмаз. Сучасна обробна промисловість вже немислима без інструменту, в якому використовуються штучні алмази (мал. 4.2).



Мал. 4.2.

Алмазний інструмент.

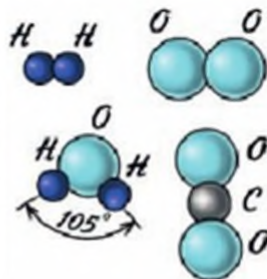
Атоми і молекули.

Не всі речовини складаються з атомів одного сорту або тільки з атомів. В природі є утворення, які складаються з кількох атомів і їх називають молекулами. Мідь, наприклад, складається з атомів міді, а вода – з молекул води, які в свою чергу складаються з трьох атомів.

Молекули складаються з двох або більше атомів.

Молекули можуть складатись з атомів одного виду або з атомів різного виду. Наприклад молекула водню (H_2) складається з двох атомів Гідрогену (H), молекула кисню – з двох атомів Оксигену (O_2). А от молекула води складається з одного атома Оксигену і двох атомів Гідрогену (H_2O), молекула вуглекислого газу складається з одного атома Карбону (C) і двох атомів Оксигену (CO_2 , мал. 4.3). Крім того, атоми скріплені в молекули у вигляді певної геометричної конструкції і це впливає на їх властивості і на властивості речовини, яка з них складається.

Молекула є найменшим носієм хімічних властивостей речовини. Якщо розкласти воду на кисень і водень, то речовини, що утворилися вже зовсім не нагадують воду – це гази кисень і водень. Атоми, в свою чергу, є найменшими носіями властивостей тих елементів, які з них складаються.



Мал. 4.3.

Молекули водню, кисню, води і вуглекислого газу.



Мал. 4.4.
Модель молекули ДНК.



Мал. 4.5.
При кипінні вода
перетворюється на пару.



Мал. 4.6.
Рідкий азот кипить
при -196°C .

Молекули іноді складаються з сотень тисяч атомів, наприклад ДНК – молекула, що передає спадковий код живих організмів (мал. 4.4). Усередині живої клітини молекула міститься у згорнутому стані, але якщо її вдалося б витягнути в лінію, то довжина сягнула б двох метрів.

Фізика досліджує структуру різних сполук разом з такими науками, як молекулярна біологія, фізична хімія і хімічна фізика.

Твердий, рідкий і газоподібний стани речовини

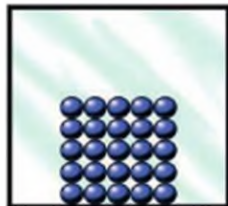
Речовина може перебувати у твердому, рідкому і газоподібному стані, які називають агрегатними станами. Охолоджуючи воду отримаємо при 0°C лід. Якщо нагрівати лід, то при 0°C він почне перетворюватися на воду (мал. 4.5). Вода, доведена до кипіння, починає перетворюватися на пару і стане газом. А якщо водянну пару привести в контакт з холодним тілом, наприклад перед носиком киплячого чайника тримати холодну ложку або тарілку, то побачимо на цих предметах крапельки води, тобто пара здійснила зворотнє перетворення.

Отже у воді є щось таке, що не змінюється при її переході з рідкого стану в твердий чи газоподібний. Справа у тому, що лід, вода і водяна пара складаються з одних і тих самих молекул, хоча мають зовсім різні властивості.

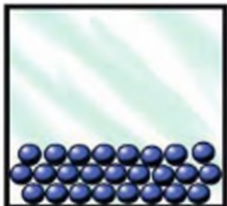
Якщо розплавити сталь, то отримаємо дуже гарячу рідину. Охолоджуючи газ азот, який входить до складу повітря, до мінус 196°C , ми отримаємо прозору і дуже холодну рідину. На (рис. 4.6) показано, як киплячий рідкий азот з термоса переливають в стакан.

Кожна речовина може перебувати в трьох агрегатних станах: твердому, рідкому і газоподібному. Агрегатний стан речовини залежить від температури і від того, як сильно взаємодіють молекули.

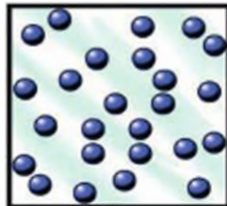
На (рис. 4.7) схематично зображено молекули (чи атоми) твердого кристалічного тіла. Вони сильно взаємодіють між собою, коливаються біля свого місця рівноваги і утворюють правильну просторову структуру – кристалічну решітку. У твердому і рідкому станах молекули розташовані майже впритул одна до одної. Взаємодія молекул у рідині достатньо сильна для того, щоб вони трималися разом як єдине ціле, але недостатня для підтримування форми – рідини течуть. Рідина у звичайних умовах набуває форми посудини, в якій вона знаходиться, тобто зберігає об'єм, але не має власної форми (рис. 4.8).



Мал. 4.7.
Модель твердого стану.



Мал. 4.8.
Модель рідкого стану.



Мал. 4.9.
Модель газоподібного стану.

Газ не має ані форми, ані об'єму і повністю заповнює посудину, в якій знаходиться (рис. 4.9). Відстані між молекулами газу приблизно у десять разів більші, ніж у рідкому і твердому станах, тому з одного кубічного сантиметра води можна запросто отримати один кубічний дециметр водяної пари.



Дослід 4.1

Кипіння і випаровування

а) Попляньте уважно на рис. 3.8 – на відстані декількох сантиметрів від носика чайника нічого не видно, і тільки потім з'являється те, що ми в побуті називаємо «паром». Яка справжня природа спостережуваного явища?

б) Чому перед кипінням в чайнику чути сильний шум, який майже вщухає, коли вода закипіла?

в) Чим, на вашу думку, відрізняється кипіння від випаровування?



Дослід 4.2

Конденсація і випаровування

а) Вийміть із холодильника і покладіть на стіл пляшку з охолодженою водою (мал. 4.10). Досить швидко поверхня пляшки загітніє, тобто покрититься крапельками води. Звідки взялася ця вода?

б) Через деякий час поверхня пляшки висушить. Куди подівалися крапельки води з поверхні?

Йони і диполі

Йон – це атом або молекула, які мають електричний заряд. Якщо атом (чи молекула) має зайві електрони, то заряд такого йона негативний, а якщо електронів не вистачає – то позитивний. Завдяки електричній взаємодії атоми і молекули у твердому стані можуть утворювати стійкі конструкції, наприклад йонну решітку, як от звичайна харчова сіль (мал. 4.11).

Диполь – це атом чи молекула, які в цілому нейтральні, але у яких позитивний і негативний заряди зміщені один відносно одного. Молекула води, внаслідок несиметричної будови (мал. 4.12), є дуже сильним диполем. Справа в тому, що атом Оксигену перетягує до себе електрони від Гідрогену і стає позитивно зарядженим. Гідроген, який втратив електрон – набуває позитивного заряду. Та сторона молекули води, в яку зміщені атоми Гідрогену має сильний позитивний заряд, а протилежна сторона, де розміщений Оксиген – негативний. Внаслідок такої будови молекул води, ця речовина має ряд унікальних властивостей. Наприклад, вода є добрим розчинником, пригадайте як легко в ній розчиняються цукор і сіль.



Дослід 4.3

Розчиніть у невеликій посудині з гарячою водою стільки солі, щоб вона вже перестала розчинятися. Потім дайте розчину схолонуту і опустіть туди нитку чи гілочку. Почекайте, поки вода випарується (це може зайняти від кількох днів до тижня) і вийміть нитку чи гілку. Опишіть дослід і спробуйте його пояснити.

Підведемо підсумки

- Атоми і молекули перебувають в постійному безладному русі і взаємодіють між собою.
- В залежності від сили взаємодії між атомами (чи молекулами), речовина може перебувати в твердому, рідкому чи газоподібному стані.
- МКСТ дозволяє фізикам і хімікам створювати штучні матеріали з унікальними властивостями і використовувати їх у виробництві, науці, техніці та побуті.
- **Хімічні елементи** складаються з атомів одного виду. **Прості речовини** складаються з атомів одного виду, або молекул, що складаються з атомів одного виду.



Теорчі завдання

- 4.1. Чому графіт потрібно не тільки сильно стиснути, а ще й дуже нагріти, щоб перетворити його на алмаз?
- 4.2. Поясніть механізм розчинення солі чи цукру у воді.
- 4.3. Яка структура фулеренів C_{60} , карбонових нанотрубок і графену?



Вправа 4

1. Від чого залежить швидкість руху молекул і атомів?
2. Чим відрізняється молекула від атома?
3. Скільки атомів містить молекула вуглекислого газу?
4. Як прочитати аббревіатуру МКТ, і яка вигода від знання цієї теорії?
5. Які найменші частинки є носіями хімічних властивостей а) елементів, б) речовини?
6. Чи змінюються молекули води при переході в твердий чи газоподібний стан?
7. Які науки крім фізики вивчають будову речовини?
8. Графіт і алмаз: що у них спільного і чим вони відрізняються?
9. Намалюйте молекулу водню, зобразивши атоми у вигляді кружечків.
10. Зобразіть схематично молекули води, кисню і вуглекислого газу.
11. Чим відрізняються молекули різних речовин між собою?
12. Що спільного і які відмінності в будові молекул води і вуглекислого газу?
13. Які атоми і в якій кількості містить молекула C_3H_5OH ?
14. Чому вода є хорошим розчинником?
15. В якому стані знаходиться речовина, якщо її молекули мають порядок у розташуванні і сильно взаємодіють між собою?
16. Як змінюється відстань між молекулами води при випаровуванні?
17. В якому агрегатному стані знаходяться а) вода, б) лід, в) водяна пара, г) туман?
18. Чому рідкий азот, коли його наливають в стакан (рис. 4.3), так сильно парує?
18. Доведіть, що якщо бути точним, то молекула води складається з йонів Гідрогену та Оксигену.
20. Чи можете ви навести приклад із вашого досвіду, який свідчить про існування проміжків між атомами та молекулами?
- 21*. Чому цукор розчиняється в гарячій воді швидше, ніж в холодній?
- 22*. В яких випадках вода може зберігати не тільки об'єм, а й форму?
- 23*. Чому водяну пару (тобто газ) не видно, а туман можна бачити?

§ 5. ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ. ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ. МІЖНАРОДНА СИСТЕМА ОДИНИЦЬ СІ

Фізичні величини

Явища природи і властивості тіл у фізиці описують за допомогою точних термінів, які однозначно виражають конкретні поняття, наприклад: рух, траєкторія, стан спокою. Описуючи рух (мал. 5.1), можна вказати куди рухається тіло (вперед, назад чи вгору), велике воно, чи маленьке; рухається воно по прямій чи повертає (вліво чи вправо), а може взагалі не рухатися – такий опис називають якісним.

Як правило, нас цікавлять і кількісні характеристики: з якою швидкістю рухався автомобіль, яку відстань він проїхав. Кількісною характеристикою явища слугує **фізична величина**. **Фізична величина** у стис-



Мал. 5.1.
Явище руху.

лій формі описує певну властивість тіла або явища. Вона характеризується числовим значенням і, як правило, одиницею вимірювання. Наприклад: автомобіль проїхав відстань 30 кілометрів.

Фізичну величину можна виміряти на досліді або обчислити за формулою.

Одиниці вимірювання

Щоб описати явище падіння деякого тіла, можна застосувати такі фізичні величини, як маса тіла, висота, час падіння. Фізичні величини зазвичай, позначають латинськими чи грецькими літерами (таблиця 5.1). Маса тіла позначають літерою «*m*», висоту – літерою «*h*», час – літерою «*t*». Наприклад, якщо тіло масою 2 кілограми впало з висоти 5 метрів за одну секунду, то пишуть: $m = 2 \text{ кг}$, $h = 5 \text{ м}$, $t = 1 \text{ с}$, вживаючи загальноприйняті скорочення: кг – кілограм, м – метр, с – секунда.

Довжину ми будемо позначати літерами *L* або *l*, діаметр круглих предметів літерою *d*, шлях – літерою *s*. Усі ці фізичні величини вимірюють в одиницях довжини: метрах (м), сантиметрах (скорочено: см), міліметрах (мм), кілометрах (км).

Якщо нас цікавить одиниця вимірювання фізичної величини, а не її числове значення, то цю величину пишуть у квадратних дужках. Наприклад, діаметр труби становить , а назва одиниці вимірювання (розмірність): $[d] = \text{см}$.

Засоби вимірювання

Прямі вимірювання фізичних величин здійснюють за допомогою приладів. Довжину вимірюють лінійкою, час – годинником, масу – на терезах. Для визначення розмірів дуже малих тіл або великих відстаней використовують більш складні прилади. Виміряти фізичну величину – означає порівняти її з певною мірою, яка є копією загальноприйнятого зразка-еталону. Еталонів порівняно небагато, і зберігаються вони в спеціальних метрологічних лабораторіях.



З історії науки. Для вимірювання часу використовували витікання або капання води в посудину з поділками або



Мал. 5.2.
Пісковий годинник.



Мал. 5.3.

Древній Сонячний годинник.

пересипання піску (мал. 5.2). Рух Сонця по небу дозволяв вимірювати час за допомогою сонячного годинника (мал. 5.3). Такими годинниками люди користувалися кілька тисячоліть, проте вони мали суттєвий недолік – були досить неточними.

Нині з'явилися дуже точні «кварцові» годинники, які відраховують час у наручних годинниках, мобільному телефоні чи комп'ютері. Для потреб навігації й науки використовують атомні годинники, які «ходять» настільки точно, що допускають похибку в одну секунду за 500 000 років!

Міжнародна система одиниць вимірювання – СІ

З потреб міжнародного співробітництва у 1960 році більшістю країн світу було підписано угоду про єдину для усіх Міжнародну систему одиниць вимірювання SI – *Systeme International* (українською мовою – СІ).

В СІ є 7 основних одиниць вимірювання, які забезпечені відповідними еталонами. Репшта одиниць вимірювання можуть бути виражені через основні одиниці. Для початку нам знадобляться три основні одиниці: метр, кілограм і секунда.

Еталон метра зображено на мал. 5.4, це рейка певного профілю, довжина якої, згідно визначення, становить одну сорокамільйонну частину меридіану, що проходить через Париж. Перший еталон метра був виготовлений у Франції в 1795 році.

У 1983 році еталон довжини змінено, тепер метр визначено як відстань, яку проходить світло у вакуумі за $1 / 299\,792\,458$ долю секунди.

Еталон кілограма – циліндр з платино-іридієвого сплаву, висота якого дорівнює його діаметру і становить 39 мм (мал. 5.5).

З еталоном секунди ви ознайомитесь у 11 класі.



Мал. 5.4.

Еталон метра зберігається в Міжнародному бюро мір та ваги в Парижі.



Мал. 5.5.

Еталон кілограма.

Таблиця 5.1


Величина	Символ	Розмірність	
		угр.	міжнар.
Довжина	l	м	m
Маса	m	кг	kg
Час	t	с	s
Площа	S	м ²	m ²
Об'єм	V	м ³	m ³
Швидкість	v	м/с	m/s

Площу в СІ вимірюють в м² (квадратні метри), об'єм – в м³ (кубічні метри).

В таблиці 5.1. площа, об'єм і швидкість є похідними одиницями, їх розмірності походять від основних одиниць вимірювання.

У розрахунках використовують також кратні одиниці, які в цілу ступень десятки перевищують основну одиницю вимірювання. Наприклад: 1 км = 1000 м, 1 дм = 10 см (сантиметрів), 1 м = 100 см, 1 кг = 1000 г. Або частинні одиниці, які в цілий ступень десятки менше від встановленої одиниці вимірювання: 1 см = 0,01 м, 1 мм = 0,1 см.

З одиницями часу трохи інакше: 1 хв. = 60 с, 1 год. = 3600 с. Частинними є лише 1 мс (мілісекунда) = 0,001 с і 1 мкс (мікросекунда) = 10⁻⁶ с.

 **З історії науки.** Для вимірювання довжини треба мати зразок, довжина якого відповідає загальноприйнятій одиницям вимірювання. Зараз це – 1 м. Еталон (зразок) метра зберігається в метрологічних лабораторіях, головна з яких знаходиться у м. Севрі (Франція).

Вимірювати довжину можна ще й іншими одиницями вимірювання – канцелярськими скріпками, наприклад, або сірниками і сказати – мій зріст складає 80 скріпок чи 36 сірникових коробок. Проте в інших людей скріпки або сірники можуть виявитися іншого розміру, що ускладнить обмін інформацією. У давні часи так і було: користувалися футами (довжина ступні, 30 см), дюймами (довжина останньої фаланги великого пальця, приблизно 2,5 см), ярдами, п'ядями, сажнями, ліктями (мал. 5.6).

Ініціаторами переходу на метричну систему одиниць були французи. Згідно з домовленістю, один метр визначили як одну сорокамільйонну частину довжини мериді-



Мал. 5.6.

Дюйм дорівнював довжині трьох вчмійних зерен, складених в рядок, ярд – відстані від кімчика носа до вказівного пальця витягнутої руки англійського короля ...

ана, який проходить через Париж. Для визначення довжини меридіана достатньо було виміряти його частину, що простирається від півдня Іспанії до півночі Норвегії. Розпочався цей процес у часи Великої французької революції. Днем народження метричної системи мір вважається 10 грудня 1799 р.

На території нашої країни метричну систему мір запроваджено спеціальним декретом 14 вересня 1918 р. Перехід на нові стандарти вимірювань пов'язаний зі зміною звичок, необхідністю перевідання довідників, переобладнання метричних лабораторій, з перевідногового персоналу тощо. Усе це коштує досить дорого. Для США, наприклад, перехід на нові стандарти обійшовся в 11 млрд. доларів.

Таблиця 5.2.

Префікси для позначень кратних і частинних одиниць

Кратність	Префікс		Позначення		Приклад
	українське	міжнародне	українське	міжнародне	
10^2	гекто	hecto	г	h	гПа - гектопаскаль
10^3	кіло	kilo	к	k	кг - кілограм
10^6	мега	mega	М	M	МДж - мегаджоуль
10^9	гіга	giga	Г	G	ГГц - гігагерц
Частка					
10^{-1}	деци	deci	д	d	дм - дециметр
10^{-2}	санти	centi	с	c	см - сантиметр
10^{-3}	мілі	milli	м	m	мл - мілілітр
10^{-6}	мікро	micro	мк	μ	мкм - мікромметр, мікрон
10^{-9}	нано	nano	н	n	нм - нанометр

**Дослід 5.2****Чому потрібно вимірювати**

Накресліть на аркуші паперу горизонтальний відрізок. Потім проведіть із середини цього відрізка перпендикулярний до нього відрізок такої самої довжини «на око». Виміряйте довжину відрізків лінійкою і ви порівняєте, що вертикальний відрізок коротший. Ось чому потрібно проводити вимірювання.

Підведемо підсумки

- Фізичні величини кількісно описують певні властивості тіл і явищ.
- Основні механічні одиниці вимірювання фізичних величин в СІ: метр, кілограм і секунда.
- Виміряти певну фізичну величину означає – порівняти її з мірою-еталоном.



Теорчі завдання

- 5.1. Які космічні явища чи об'єкти можна використовувати як дуже точний годинник? Підготуйте невеличкий реферат на цю тему.
- 5.2. В якій послідовності відбуваються будь-які події? Напишіть невеличкий реферат на тему «Що таке час?»



Вправа 5

1. Рух, відстань, час, траєкторія. Які з цих термінів описують фізичні величини, а які - поняття?
2. Навіщо використовують фізичні величини?
3. В яких одиницях вимірюють відстань?
4. З якою метою була створена Міжнародна система одиниць вимірювання СІ?
5. Перелічіть відомі вам типи годинників.
6. Який годинник найточніше вимірює час?
7. Навіщо потрібні еталони?
8. В яких установах зберігаються еталони?
9. Чому потрібно проводити вимірювання?
10. Скільки метрів в одному кілометрі?
11. Яку частину від дециметра складає один сантиметр?
12. Скільки міліметрів в одному метрі?
13. Які одиниці вимірювання називають похідними?
14. Виразіть діаметр дводюймової труби в сантиметрах.
15. Виразіть 1/6 години в хвилинах.
16. Яку частину кілограма становить один грам?

§ 6. ПОХИБКИ. ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

Вимірювання. Ціна поділки шкали приладу



Мал. 6.1.

Вимірювання довжини лінійкою.

Метою вимірювання є встановлення дослідним шляхом істинного значення фізичної величини. При вимірюваннях виникають похибки – як внаслідок недосконалості приладів, так і по причині обмежених можливостей наших органів чуттів, а також багатьох інших випадкових чинників.

Вимірювання вимагає проведення дослідів, тобто теоретичні міркування чи розрахунки не замінять експеримент. При вимірюванні ми не можемо встановити істинного значення вимірюваної величини, а тільки межі, в яких вона знаходиться.

Приклад 6.1

Виміряємо ширину стола рулеткою із сантиметровими та міліметровими поділками на ній (мал. 6.1). Значення найменшої поділки шкали називають ціною поділки і позначають літерою C . Бачимо, що ціна поділки рулетки $C = 1$ мм (або 0,1 см).

Сумістимо нульову поділку рулетки з краєм стола і подивимося, з яким значенням шкали лінійки збігається другий край стола (мал. 6.1). Бачимо, що ширина стола становить трохи більше, ніж 70 см і 6 мм, або 706,0 мм. Нуль після коми показує, що вимірювання ведеться з точністю до десятої доли мм.

Абсолютна похибка вимірювання Δ (дельта)**Приклад 6.2**

Позначимо ширину стола літерою L . Якщо ми запишемо, що ширина стола в прикладі 6.1 становить $L = 706$ мм, то допустимо певної похибки, причому «на око» її встановити важко. Дововимося, що **похибка вимірювання ΔL** не більша за половину ціни поділки шкали приладу. ΔL - читають: «дельта ель». У нашому випадку $\Delta L = \frac{1}{2} C = 0,5$ мм і це максимальне значення похибки при зчитуванні шкали.

Сам результат вимірювання прийнято записувати наступним чином – ширина стола $L = (706,0 \pm 0,5)$ мм – читають: 706 плюс-мінус 0,5 мм. Ці 0,5 мм в нашому прикладі називають абсолютною похибкою. Значення виміряної величини (706,0 мм) і абсолютної похибки (0,5 мм) повинні мати однакову кількість цифр після коми, тобто не можна записувати 706 мм \pm $0,5$ мм.

Даний запис результату вимірювання означає, що істинне значення виміряної величини знаходиться між 705,5 мм і 706,5 мм, тобто $705,5$ мм $\leq L \leq 706,5$ мм.

Відносна похибка вимірювання ε (епсilon)

Далі потрібно оцінити значення абсолютної похибки ΔL порівняно зі значенням самої виміряної величини L , тобто – ширини стола ($L = 706$ мм). Для цього поділимо 0,5 мм на 706 мм. У результаті маємо: $\frac{0,5 \text{ мм}}{706 \text{ мм}} = 0,0007$. Цю похибку називають відносною і позначають грецькою літерою ε (епсilon):

$$\varepsilon(L) = \frac{\Delta L}{L} \quad (6.1)$$

Значення відносної похибки записують і у відсотках, для чого ε множать на 100%. У нашому прикладі відносна похибка становить 0,0007 або 0,07%. Таку точність при визначенні довжини стола можна вважати дуже хорошою.

Відносна похибка вимірювання свідчить про якість вимірювання. Якщо довжина якогось предмета дорівнює 5 мм, а точність – плюс-мінус 0,5 мм, то відносна похибка становитиме вже 10%.

Стандартний запис результату вимірювання і висновки.

Отже, абсолютна похибка в **прикладі 6.1.** становить $\Delta L = 0,5 \text{ мм}$, а результат вимірювання слід записати в стандартному вигляді: $L = (706,0 \pm 0,5) \text{ мм}$. Дослід виконано з відносною похибкою 0,0007 або 0,07%.

На точність вимірювання впливає багато чинників, зокрема:

1. При суміщенні краю стола з поділкою шкали рулетки ми неминуче припускаємося похибки, оскільки робимо це «на око» – дивитися можна під різними кутами.
2. Не зовсім рівно встановили рулетку.
3. Наша рулетка є копією еталона і може дещо відрізнятись від оригіналу.

Підведемо підсумки

- Абсолютну похибку визначають як половину ціни поділки шкали вимірювального приладу.
- Відносна похибка дорівнює частці від ділення абсолютної похибки на значення вимірюваної величини, наприклад: $\varepsilon(L) = \frac{\Delta L}{L}$ і вказує на якість вимірювання. Відносну похибку можна виразити у відсотках, тоді потрібно помножити на 100%
- Вимірювання у фізиці завжди неточні, і треба знати межі похибки вимірювань, щоб розуміти, наскільки можна довіряти результатам.



Теоретичні завдання

6.1. Підготуйте реферат на тему «Як була вперше виміряна довжина земного меридіана».



Вправа 6

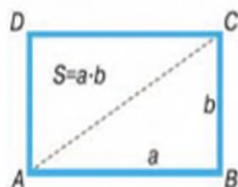
1. Яку мету ставить перед собою дослідник, вимірюючи деяку фізичну величину?
2. Назвіть причини, через які вимірювання розмірів предметів чи відстаней можна провести тільки з певною точністю.
3. Як пов'язана ціна поділки шкали приладу з абсолютною похибкою вимірювання?
4. Як обчислюють відносну похибку вимірювання?
5. Як називають зразок одиниці вимірювання?
6. Наведіть приклад запису результату вимірювань з урахуванням похибок.
7. Яка назва одиниці вимірювання довжини в СІ?

8. Коли вигідніше використовувати рулетку замість лінійки?
9. Які прилади використовують для вимірювання великих відстаней?
10. Чому були введені міжнародні стандарти одиниць вимірювання?
11. Чому вигідно мати єдині стандарти одиниць вимірювання для всіх країн?
12. Як можна виміряти за допомогою негнучкої лінійки: а) діаметр м'яча; б) периметр овального стола?
13. Чому недостатньо визначати абсолютну похибку вимірювань, а потрібна ще й відносна похибка?
14. Висота, з якої впав м'ячик становить: $h = (1,55 \pm 0,01)$ м. Яка абсолютна та відносна похибка вимірювання?
15. Маса предмета становить 50 г і виміряна з відносною похибкою 0,02. а) Яка абсолютна похибка вимірювання? б) Запишіть результат вимірювання в стандартному вигляді.
- 16*. Довжина стола, виміряна лінійкою з сантиметровими поділками становить приблизно 140 см. Запишіть результат вимірювання в сантиметрах і визначте відносну похибку.

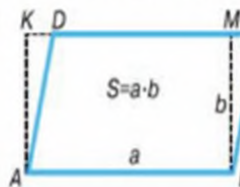
§ 7. ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ ТА ОБ'ЄМУ

Обчислення площі простих фігур

Для визначення площі деякої плоскої геометричної фігури досить зробити два вимірювання. Розглянемо процедуру визначення площі прямокутника (мал. 7.1). Позначимо довжину сторони АВ літерою a (довжина прямокутника), довжину сторони ВС – літерою b (ширина прямокутника). Тоді площа, яку позначають великою літерою S , дорівнює добутку довжини прямокутника і його ширини: $S = a \cdot b$. Площа паралелограма ABCD (мал. 7.2) дорівнює площі прямокутника АВМК. Лінію $BM = b$ називають висотою. Ще простіше визначити площу квадрата (мал. 7.3), вона дорівнює квадрату сторони цієї фігури.



Мал. 7.1.



Мал. 7.2.



Мал. 7.3.

Площа трикутника (наприклад трикутника ABC на (мал. 7.1) дорівнює половині площі побудованого на ньому прямокутника і обчислюється за формулою $S = \frac{1}{2} a \cdot b$ (половина добутку основи на висоту).

Проблема визначення площі круга була вирішена ще в Стародавній Греції. Для цього потрібно знати радіус круга і число «пі», приблизне значення якого: $\pi \approx 3,14$.

Площа круга дорівнює:
$$S = \pi \cdot R^2 \quad (7.1)$$

Значення числа π можна отримати, якщо розділити довжину кола L на його діаметр. Причому немає значення, яких розмірів коло і в яких одиницях виміряні довжина і діаметр (треба тільки, щоб це були одні й ті самі одиниці).

Обчислення об'єму простих фігур

Кожне тіло займає певний об'єм. В одній і тій самій частині простору не можуть одночасно знаходитися два тіла. Чим більшу частину простору займає тіло, тим більший об'єм воно має. Об'єм позначають літерою V (від volume – об'єм). Щоб знайти об'єм прямокутного бруска чи ящика (математики називають цю геометричну фігуру паралелепіпедом) зі сторонами a , b і h , треба довжину a помножити на ширину b і на висоту h (мал. 7.6):

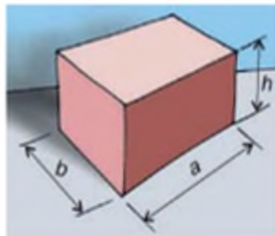
$$V = a \cdot b \cdot h \quad (7.3)$$

Оскільки $S = a \cdot b$, де S – це площа основи ящика, то формулу (8.3) можна переписати і так:

$$V = S \cdot h \quad (7.4)$$

У куба всі ребра рівні, тому його об'єм дорівнює:

$$V = a \cdot a \cdot a = a^3 \quad (8.5)$$



Мал. 7.6.

Щоб знайти об'єм, треба довжину a помножити на ширину b і на висоту h :

$$V = abh$$

Одиниці вимірювання об'єму



Мал. 7.7.

Один літр – це об'єм куба зі стороною 1 дм

Оскільки довжини сторін вимірюють в одиницях довжини (метр, дециметр, сантиметр і т. д.), то одиниці вимірювання об'єму – це одиниці довжини, піднесені до третього степеня.

Куб з ребром 1 м має об'єм 1 м^3 (один кубічний метр). Один літр (1 л), за означенням, – це об'єм куба з ребром 1 дм (мал. 7.7), тобто $1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$ (дециметр кубічний). Один літр містить 1000 кубічних сантиметрів: $1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3$. Об'єм в один сантиметр кубічний ще називають мілілітром, тобто тисячною частиною літра ($1 \text{ мл} = 0,001 \text{ л}$).

Нагадаємо, що дециметр – це десята частина метра, а сантиметр – сота частина метра.

Таблиця 7.1

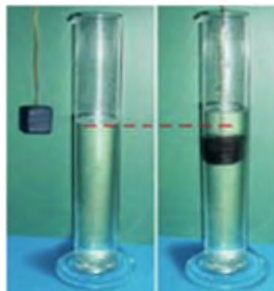
$1 \text{ м}^3 = 1\,000 \text{ л}$	$1 \text{ м}^3 = 1\,000\,000 \text{ см}^3$
$1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$	$1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3$
$1 \text{ дм}^3 = 1\,000 \text{ см}^3$	$1 \text{ л} = 1\,000 \text{ мл}$
$1 \text{ см}^3 = 1 \text{ мл}$	$1 \text{ мл} = 0,001 \text{ л}$

Вимірювання об'єму тіл неправильної форми

Прилад для вимірювання об'єму називають мензуркою, або мірним циліндром (мал. 7.8).

Мензурка – це прозора посудина з нанесеними поділками, які означають об'єм у мілілітрах. Удома у вас, мабуть, є мірна склянка, тобто та сама мензурка. Літрова чи півлітрова банки або склянка (250 мл.) також можуть використовуватися, якщо не потрібна велика точність.

За допомогою мензурки можна визначити об'єм тіла неправильної форми. Для цього в мензурку треба налити воду і визначити об'єм цієї води. Потім повністю занурити тіло у воду й запам'ятати нове значення об'єму. Різниця вимірянних значень дорівнює об'єму тіла.



Мал. 7.8.

Поділки мензурки визначають об'єм у мілілітрах (тобто см^3)



З історії науки. Існує легенда, згідно з якою першим таким спосіб визначення об'єму винайшов давньогрецький учений Архімед. Відбулося це під час роздумів над досить складною задачею, запропонованою царем Гіроном.

Ідея розв'язання виникла тоді, коли Архімед заліз у ванну й помітив, що рівень води піднявся. Учений зрозумів, що витіснений об'єм води якраз дорівнює об'єму зануреного в неї тіла. У захопленні Архімед вистрибнув із ванни і побіг вулицею, вигукуючи «еврика, еврика!», що в перекладі з давньогрецької означає «знайшов, знайшов!».



Дослід 7.2

Визначте об'єм тіла неправильної форми, яке не поміщається у мензурку.



Тема для дослідження

7.1. Визначте площу ступні вашої ноги.

Підведемо підсумки

- Площа тіл правильної форми дорівнює добутку основи на висоту і вимірюється в квадратних одиницях довжини
- Об'єм тіл правильної форми визначається як добуток площі основи на висоту і вимірюється в кубічних одиницях
- Об'єм тіл довільної форми визначають за допомогою мензурки
- Площу круга визначають за формулою $S = \pi \cdot R^2$.
- Об'єм кулі дорівнює $V = \frac{4}{3} \pi \cdot R^3$



Вправа 7

1. Як визначають площу а) прямокутника, б) квадрата?
2. Як обчислюють площу круга?
3. Скільки см^2 в 1 м^2 ?
4. Дайте визначення числа π .
5. Скільки см^2 в 1 м^2 ?
6. Дайте визначення 1 л.
7. Скільки мілілітрів в одному літрі?
8. Обчисліть площу прямокутника зі сторонами 5 і 4 см.
9. Обчисліть площу круга діаметром 10 см.
10. Обчисліть об'єм паралелепіпеда зі сторонами 6 см, 5 см і 4 см.
11. Обчисліть об'єм циліндра, площа основи якого $S = 30 \text{ см}^2$, а висота 8 см.
12. Як визначають об'єм тіл довільної форми?
- 13*. Як можна визначити за допомогою негнучкої лінійки об'єм м'яча?
- 14*. Як обчислюють площу неправильних фігур?

§ 8. ВНЕСОК УКРАЇНСЬКИХ УЧЕНИХ У РОЗВИТОК І СТАНОВЛЕННЯ ФІЗИКИ

Українські вчені зробили вагомий внесок у розвиток ракетної техніки, атомної енергетики та дослідження космосу. Україна сьогодні входить до невеликого «клубу» космічних держав і бере участь у низці престижних міжнародних космічних проєктів, таких як «Морський старт – Sea Launch» (мал. 8.1). В Україні розвивається кораблебудування, авіабудування, машинобудування, матеріалознавство та багато інших життєво важ-



Мал. 8.1.
Українська ракета
«Zenit».

ливих галузей, до яких має пряме відношення фізична наука. У нас будують найбільші у світі літаки і турбіни.



Іван Пулюй

Іван Пулюй (1845–1918) – видатний фізик та електротехнік, народився в містечку Гримайлові на Тернопільщині, працював у Віденському та Празькому технічних університетах, був радником імператора Австро-Угорщини. Вперше дослідив рентгенівські промені, займався будівництвом низької електростанції у Чехії, керував запровадженням трамвая в Празі.

Микола Боголюбов (1909–1992) – визначний фізик-теоретик, народився в м. Києві, навчався в Київському університеті. У 1924 році у п'ятнадцятирічному віці Боголюбов написав першу наукову працю, а наступного року був прийнятий безпосередньо до аспірантури Української академії наук, яку закінчив у 1929 р., отримавши у 20 років ступінь доктора математичних наук. Відомий як математик і фізик-теоретик, досліджував питання будови матерії.



*Микола
Боголюбов*



*Олександр
Смакула*

Олександр Смакула (1900–1983). Народився в селі Доброводи Збаразького району на Тернопільщині. У 1922 р. блискуче завершив навчання в українській гімназії в Тернополі. Того ж року виїхав на навчання до університету в Німеччині і склав вступні іспити до Гетингенського університету. Працював у відомій оптичній фірмі «Цейс» та Массачусетському технологічному інституті (MIT, США). Найбільше його відкриття – «просвітлення оптики», суть якого полягає в тому, що поверхню лінзи покривають тоненькою плівкою, яка зменшує кількість відбитого світла.



*Мал. 8.2.
Просвітлююче
покривтя лінзи.*

Такі лінзи відблискують бузковим кольором і ними оснащені фотоапарати, біноклі та інші оптичні прилади (мал. 8.2).

Георгій Шарнак (1924–2010). Народився 1924 р. у м. Дубровиця (нині Рівненська обл.). Коли Георгію було 8 років, сім'я емігрувала до Франції. Навчався спочатку в гірничій школі, а потім у знаменитому Колежі де Франс. З 1959 р. працював у Європейському центрі ядерних досліджень у Швейцарії (ЦЕРН). Там він розробив пристрій для реєстрування частинок, що породжуються у спеціальних прискорювачах (колайдерах). Дрейфові камери Шарнака зараз використовуються в



*Георгій
Шарнак*

детекторах ATLAS (мал. 8.3) та CMS. За свої розробки Георгій Шарпак у 1992 р. отримав Нобелівську премію.



*Абрам
Йоффе*

Абрам Йоффе (1880–1960) – видатний фізик і організатор науки. Народився в м. Ромни на Сумщині. Засновник і директор фізико-технічного інституту АН СРСР у Петербурзі. Його основний напрямок у науці – фізика напівпровідників і діелектриків. Навчався в Петербурзі (Росія), Мюнхені (Німеччина). Ініціатор створення фізико-технічних інститутів у Харкові та Дніпропетровську. Учнями А.Ф. Йоффе були Ігор Курчатов та Яків Зельдович (ведучі спеціалісти радянського атомного проекту), майбутні Нобелівські лауреати Микола Семьонов (хімія) та Ігор Тамм, Петро Капіца, Лев Ландау, і Жорес Алфьоров – фізика.

Ігор Курчатов (1902–1960). У 1920 р. закінчив із золотою медаллю сімферопольську гімназію. Навчався в Таврійському університеті в м. Сімферополь. У 1943 р. Курчатов заснував і став першим директором Інституту атомної енергії (ІАЕ). У 1945 р. під його керівництвом розпочато будову циклотрону і уран-графітового котла, на якому були отримані перші вагові порції Плутонію. У 1949 р. керований Курчатовим колектив створив радянську атомну бомбу, покінчивши з монополією США в цій царині.



*Ігор
Курчатов*



*Анатолій
Александров*

Анатолій Александров (1903–1994). Народився на Київщині у м. Таращі. З 1916 р. навчався в 1-му Київському реальному училищі, відвідував фізико-хімічний гурток, де організував електротехнічну групу. Після закінчення школи вступив до Київського університету, який закінчив у 1930 р. Працював учителем у київських школах, а потім у Київському медичному інституті. У роки Другої світової війни Александров разом з Ігорем Курчатовим керував роботами по захисту кораблів від магнітних мін і торпед, завдяки чому під час війни жодний корабель, споряджений цією захисною системою, не загинув. За участю Александрова було розроблено та побудовано атомні енергетичні установки для трьох криголамів і реактори на швидких нейтронах РБМК-1000.

Георгій Гамов (1904–1963) – видатний фізик ХХ ст. Народився в Одесі, в учительській родині. В 1921 р. він вступив на математичне



*Мал. 8.3.
ЦЕРН. Детектор ATLAS*

відділення фізико-математичного факультету Одеського університету і одночасно підробляв обчислювачем в Одеській астрономічній обсерваторії. Продовжив освіту в Петроградському університеті, який достроково (за три роки) закінчив. Вже у 24 роки він виконав роботу нобелівського рівня, розробивши теорію альфа-розпаду. У 1928 р. вчений отримав стипендію Рокфеллера для навчання в Геттінгенському університеті (Німеччина). У 1934 р. Гамов емігрував до США де він, починаючи з 1949 р., працював над проектом створення водневої зброї.



**Георгій
Гамов**

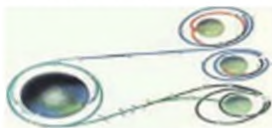
Гамов розробив модель «гарячого Всесвіту» (теорію Великого Вибуху). Він також автор багатьох науково-популярних книг, зокрема «Містер Томпкінс у Країні Чудес» (1939), трилогії «Народження й смерть Сонця» (1949), «Біографія Землі» (1941), «Народження Всесвіту» (1952), «Раз, два, три... нескінченність» (1947), «Тридцять років, що сколихнули фізику» (1966). Гамов походив з родини нащадків запорізьких козаків Лебединців, чим пишався.

Юрій Кондратюк (1897–1942) – вчений-винахідник, один із теоретиків космонавтики, космічних польотів та основ конструювання космічних кораблів. Народився в Полтаві. Навчався у Другій Полтавській чоловічій гімназії і закінчив її зі срібною медаллю.

Незалежно від Костянтина Цюлковського розробив основи космічних польотів і конструювання міжпланетних кораблів. У праці «Завоювання міжпланетних просторів» (1929 рік) вивів основне рівняння польоту ракети, розглянув енергетично найвигідніші траєкторії космічних польотів, виклав теорію багатоступеневих ракет.



**Юрій
Кондратюк**



Мал. 8.4.

Траса Кондратюка.

Результати наукової праці Юрія Кондратюка (мал. 8.4) були використані при плануванні висадки американських астронавтів на Місяць у 1969 р. На зворотному боці Місяця є кратер, названий іменем Кондратюка.

Підведемо підсумки

- Творчий розум інженерів, винахідників і вчених сприяє розвитку науки, техніки і технологій.
- Українські вчені-фізики внесли значний вклад у технічний прогрес як своїх країн, так і усього людства.
- Наше сучасне і майбутнє суттєво залежать від стану і розвитку науки і технологій.

- Творче завдання 8.1. Дослідіть, з якою метою створено проект «Морський старт».
- Творче завдання 8.1. Напишіть невеликий реферат на тему: «Трагедія Кондратюка».



Вправа 8

1. У якому віці Микола Боголюбов написав свою першу наукову працю?
2. Яке технічне відкриття прославило Олександра Смакулу?
3. В якій галузі фізики і техніки працювали Ігор Курчатова і Анатолій Александров?
4. Які науково-популярні книги для молоді написав Георгій Гамов?
5. Яке відкриття Юрія Кондратюка було використано в практичній космонавтиці?
6. Які галузі науки і техніки розвиваються в Україні на світовому рівні?
7. Перечисліть декілька учених, які працювали в галузі ядерної фізики.
8. Який вчений українського походження зробив значний вклад у розвиток астрономії та астрофізики?

§ 9. ФІЗИКА В НАУЦІ ТЕХНІЦІ, ВИРОБНИЦТВІ І ПОБУТІ

XX століття виявилось століттям несподіваних і захоплюючих відкриттів у фізиці. Усі вони знайшли практичне застосування і суттєво змінили життя людського суспільства.

Створення ядерної фізики і оволодіння ядерною енергією.

Узявши відром вугілля можна обігріти квартиру на один вечір. Одне відро урану (якщо звільнити всю ядерну енергію, котра міститься в ньому) може забезпечити півмільйонне місто світлом і теплом упродовж року! Людство отримало небачену могутність, яка, з одного боку, відсуває постійну загрозу енергетичної кризи (атомні електростанції), а з іншого – загрожує самознищенням (атомна і воднева зброя). А відкриття антиречовини взагалі обіцяє дати в сотні разів потужніші джерела енергії, ніж ядерна.



Мал. 9.1.
*Людина ступила
на поверхню Місяця*

Вихід людства в космос.

За допомогою ракет вдалося подолати земне тяжіння, побудувати космічні станції і на-

віть побувати на Місяці (мал. 9.1). Перший штучний супутник було запуснено в 1957 р. у Радянському Союзі, а радянський космонавт Юрій Гагарін став першою людиною, яка побувала в космосі. Космічним апаратам вдалося сфотографувати з близької відстані багато планет Сонячної системи. На Марс, Венеру, Місяць і навіть на супутник Сатурна Титан вдалося висадити дистанційно керовані апарати (мал. 9.2).



Мал. 9.2.
Космічний апарат
«Восток-2»

Космічні апарати

Створення космічних апаратів потребує цілком нових технологій. Із часом нові прилади і матеріали, задіяні спочатку в космонавтиці, починають застосовувати, наприклад, для виготовлення штучних суглобів у медицині або для виробництва гірських лиж чи автомобільних двигунів. Це дає великий прибуток і тому розвинуті країни вкладають у наукові дослідження величезні кошти. Так, програма «Аполлон» – висадка людини на Місяць – обійшлася американцям у 25 млрд. доларів. Але прибуток від високіх технологій склав 4 долари на кожен витрачений. Це у 20 разів ефективніше, ніж аналогічні асигнування у промисловість. Очевидним є висновок, на цей раз економічний: вкладати гроші у розвиток нових технологій, освіту та фундаментальні дослідження (ті, що знаходяться в основі всіх інших) вигідно.

Радіо, телебачення, Інтернет



Мал. 9.3.

Меморіальна поштівка,
що засвідчує створення
Інтернету

Радіо й телебачення – диво, до якого ми вже звикли і сприймаємо його як належне. Існування радіохвиль передбачив ще у XIX ст. англійський фізик Джеймс Клерк Максвелл. Минуло 14 років, перш ніж німецький фізик Герріх Герц відкрив ці хвилі, і ще 8 років, аж поки російський фізик Олександр Попов винайшов радіоприймач. Тут беруть свій початок сучасні радіо і телебачення, мобільний телефонний зв'язок, електронна пошта і «всесвітня павутина» – «www» – Інтернет. Інтернет створено в Європейському центрі ядерних досліджень ЦЕРН у 1995 році (мал. 9.3).

Створення сучасних комп'ютерів.

У першій половині XX ст. фізики відкрили новий клас матеріалів, названих напівпровідниками. А в 1948 р. на основі цих матеріалів було

створено найважливіший елемент усіх електронних приладів – транзистор. Саме за відкриття транзистора американський фізик Джон Бардін удостоївся найпрестижнішої у світі вчених Нобелівської премії. До відкриття транзистора комп'ютери виготовлялися на основі радіоламп і мали великі розміри, споживаючи дуже багато енергії. Один комп'ютер займав приміщення з великий спортзал. Комп'ютери на основі транзисторів уже вміщалися в кількох шафах і споживали значно менше енергії, і до того ж працювали в тисячі разів швидше.



Мал. 9.4.
Портативний комп'ютер.

Проте справжня революція у виготовленні комп'ютерів розпочалася в 1970-ті роки, коли вчені і технологи навчилися вирощувати мільйони транзисторів на невеличких напівпровідникових пластинках, площа яких дорівнює площі нігтя. Сьогодні персональні комп'ютери (мал. 9.4) можна розташувати на столі, а деякі моделі навіть у кишені. Та й виконувати вони можуть мільярди і трильйони операцій за секунду. Наприклад, засоби пам'яті комп'ютерів вже ведуть на Мб (мегабайти) і Тб – терабайти, а в суперкомп'ютерах – на петабайти (Пб).

Ера технологій – проникнення у мікросвіт



Мал. 9.5.
Електронний мікроскоп

Звертаємо увагу на те, що кожне відкриття у фізиці сприяє багатьом інженерним і технологічним відкриттям (технологія – спосіб виготовлення), які, у свою чергу, дають можливість отримувати нові надзвичайно важливі результати.

Нанотехнології, які мають справу з об'єктами розміром у мільярдні долі метра, дозволяють отримати такі надлегкі матеріали як «аерогелі», що за густиною мало відрізняються від повітря і надміцні матеріали, де нитка з вуглецевого композиту товщиною 1 мм витримує тягар масою в 10 тонн.

Створення електронних мікроскопів дало змогу побачити спочатку скупчення молекул, а потім – окремі молекули й атоми (мал. 9.5).

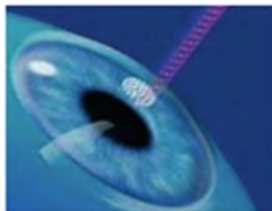
Лазери, або оптичні квантові джерела світла

Лазери – ще одне чудове відкриття сучасної фізики. Світло, яке вони випромінюють, суттєво відрізняється від світла, що випромінюється Сонцем чи звичайними лампами. У 1964 році Нобелівські премії за відкрит-

тя лазера отримали американець Чарлз Таунс та радянські фізики Микола Басов і Олександр Прохоров.

Лазери проникли буквально в усі сфери життя, включаючи медицину, сільське господарство, побутову радіоелектроніку і навіть індустрію розваг. За допомогою лазерного променя роблять складні операції на оці людини (мал. 9.6).

Проте найцікавіші застосування лазерів для демонстрації об'ємного кіно й об'ємного телебачення – це попереду. Потужні волоконні лінії, що використовуються в магістралях для передачі інформації, в тому числі й для роботи Інтернету, – це також сфера застосування лазерів.



Мал. 9.6.
Лазерна корекція зору.

Відкриття надпровідності

Надпровідність – це стан провідника, коли він зовсім втрачає електричний опір. Це відкриття, зроблене Нобелівським лауреатом голландцем Камерлінг-Оннесом на початку ХХ ст. поступово готує технічний переворот у галузі електротехніки. Надпровідні кабелі поки що використовують для роботи суперелектромагнітів лише у фізичних лабораторіях, але потяги на магнітних підвісках (мал. 9.7), що рухаються зі швидкістю літака, вже випробовуються на кількох експериментальних лініях. У 2003 р. Нобелівські премії в галузі квантової фізики, надпровідності та надтекучості отримали британо-американець Ентоні Леггет та російські вчені Віталій Гінзбург і Олексій Абрикосов.



Мал. 9.7.
Потяг на магнітній підвісці.

Нові теорії і нові досягнення

Спеціальна і загальна теорія відносності (СТВ та ЗТВ).

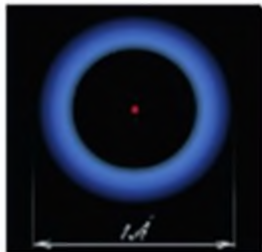
На початку ХХ ст. існуючі фізичні теорії вже не здатні були пояснити деякі експериментальні факти. Виникла потреба в нових теоріях – і вони були створені. Це передовсім спеціальна теорія відносності СТВ, створена Альбертом Ейнштейном. Вона встановила існування зв'язку між простором і часом, а також неможливість руху тіл, що мають масу, зі швидкістю світла.

Загальна теорія відносності завершена Ейнштейном у 1917 р. передбачила можливість відхилення світла від прямолінійного поширення в полі тяжіння та існування чорних дір, зв'язала геометричні властивості

простору з розподілом мас у ньому, а також дала змогу зробити деякі припущення щодо походження Всесвіту.

Квантова механіка.

Ця галузь фізики була створена зусиллями багатьох фізиків у 1924–27 роках і докорінно вплинула на світогляд людей. Нова теорія дала змогу описати явища, що спостерігаються в мікросвіті атомів (мал. 9.8) і молекул, проникнути в таємниці атомного ядра та елементарних частинок. Іншими словами, вона зуміла сформулювати розуміння глибоких властивостей матерії, зокрема пояснити явище надпровідності та надтекучості, особливості газів, рідин і твердих тіл, – як кристалічних, так і аморфних. Вона стала теоретичною основою сучасної мікроелектроніки, лазерної техніки, атомної і ядерної фізики.



Мал. 9.8.
Квантова модель
атома Гідрогену.

Підведемо підсумки

- Найбільші відкриття у фізиці ХХ століття зроблені в галузі атомної і ядерної фізики.
- Прогрес у створенні фізичних теорій привів до виникнення нових галузей техніки і технології.
- Створення лазерів створило нові можливості застосування світлової енергії.
- Квантова механіка і теорія відносності стали інженерними науками.



Теорчі завдання

- 9.1. Чим антиречовина відрізняється від речовини?
- 9.2. Як працює система GPS?
- 9.3. Чим антиречовина відрізняється від речовини?
- 9.4. Як мобільний телефон з'єднує вас з іншим абонентом?
- 9.5. Напишіть реферат на тему: «Транспорт на магнітній подушці».



Вправа 9

1. Який вплив на сучасну енергетику має ядерна фізика?
2. На яких небесних тілах побували космічні апарати?
3. Перелічіть вчених, які внесли свій вклад у створення радіозв'язку.
4. Перелічіть пристрої, в яких використовуються транзистори і мікросхеми.
5. Які прилади дають можливість бачити атоми і молекули?
6. Приведіть приклади застосування лазерів.

7. Яка теорія передбачила відхилення світла біля масивних тіл?
8. Які явища пояснює квантова механіка?
9. Укажіть область застосування нанотехнологій.
10. Товщина волосини приблизно 0,1 мм. Якими стануть розміри волосини (в км) і атома Гідрогену (в см), якщо їх збільшити в мільярд разів?
11. Що треба зробити з графітом, щоб він перетворився на алмаз?
12. Наведіть приклади практичної вигоди від розуміння атомно-молекулярної будови речовини.
 - 13*. Звідки приймає телепрограми «тарілка»?
 - 14*. Назвіть основну деталь комп'ютера, яка керує всією його роботою.
 - 15*. Які промені використовують при флюорографії?
 - 16*. Який рекорд швидкості потягу на магнітній підвісці?

ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ I

- Фізика – це наука, що вивчає найпростіші і разом з тим найзагальніші властивості та закони руху об'єктів навколишнього світу.
- При вивченні явищ навколишнього світу фізики роблять досліди і обчислення, на основі яких створюються фізичні теорії.
- Фізичними приладами і теоріями користуються інші науки.
- Фізика – основа техніки і технології. Завдяки новим матеріалам і джерелам енергії відбувається технічний прогрес усього суспільства.
- Матерія складається з речовини і поля. Речовина складається з атомів. Поле здійснює взаємодію на відстані між частинками речовини.
- Атоми складаються з ядра, в якому знаходяться протони та нейтрони, і електронних оболонок.
- Атоми і молекули перебувають в постійному безладному русі і взаємодіють між собою.
- В залежності від сили взаємодії між атомами (чи молекулами) речовина може перебувати в твердому, рідкому чи газоподібному агрегатному стані.
- МКТ дозволяє фізикам і хімікам створювати штучні матеріали з унікальними властивостями і використовувати їх у виробництві, науці, техніці та побуті.
- Фізичні величини кількісно описують певні властивості тіл і явищ. Основні механічні одиниці вимірювання фізичних величин в СІ: метр, кілограм і секунда.
- Виміряти певну фізичну величину означає – порівняти її з мірою.
- Для визначення меж точності вимірювання в експериментах вводять абсолютну (Δ) та відносну (ε) похибки. Абсолютну похибку визначають як половину ціни поділки шкали вимірювального приладу $\Delta = C/2$. Відносна похибка дорівнює частці від ділення абсолютної похибки на значення виміряної величини і вказує на якість вимірювання.
- Наше сучасне і майбутнє суттєво залежать від стану і розвитку освіти, науки і технологій. Зарубіжні і вітчизняні науковці вносять великий вклад у технічний прогрес як своїх країн, так і усього людства.

ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ I

Виберіть правильний варіант відповіді:

1. Фізика – це наука про:

A: космос; B: техніку; B: вимірювання; Г: природу.

2. Який з термінів означає фізичне явище:

A: температура; B: плавлення; B: шлях; Г: траєкторія.

3. Що є основною ознакою фізичної величини:

A: її можна виміряти в досліді, або обчислити за формулою;

B: вона не змінюється з часом; B: вона має одиниці вимірювання;

Г: вона визначається числом.

4. Яке з наведених слів означає речовину: 1. Залізо. 2. Маса. 3. Вода. 4. Радіохвиля.

A: 1,4; B: 1,3; B: 2,4; Г: 2,3.

5. Які фізичні явища спостерігаються під час блискавки:

A: світлові; B: електричні; B: звукові; Г: усі вказані.

6. Який префікс вказує на одну мільйонну частину даної величини:

A: мілі; B: мікро; B: кіло; Г: мега.

7. Розташуйте фізичні величини в тому ж порядку, в якому вказані їх одиниці вимірювання: м, кг, с, м/с. 1. маса; 2. час; 3. швидкість; 4. відстань.

A: 1, 3, 2, 4; B: 1, 2, 3, 4; B: 2, 3, 1, 4; Г: 4, 1, 2, 3.

8. Розташуйте наступні фізичні поняття і терміни: падіння м'яча, лінійка, літак, маса, кілограм в правильному порядку: 1. Явище. 2. Фізичне тіло. 3. Вимірювальний прилад. 4. Одиниця вимірювання. 5. Фізична величина.

A: 1, 2, 3, 4, 5; B: 2, 3, 1, 4, 5.; B: 1, 3, 2, 5, 4.; Г: 4, 2, 3, 5, 1.

9. Який об'єм води налито в мензурку:

A: 1 - 42 мл, 2 - 62 мл.

B: 1 - 45 мл, 2 - 61 мл.

B: 1 - 45 мл, 2 - 62 мл.

Г: 1 - 42 мл, 2 - 61 мл.



10. Яка ціна поділки і межа вимірювання даною лінійкою:

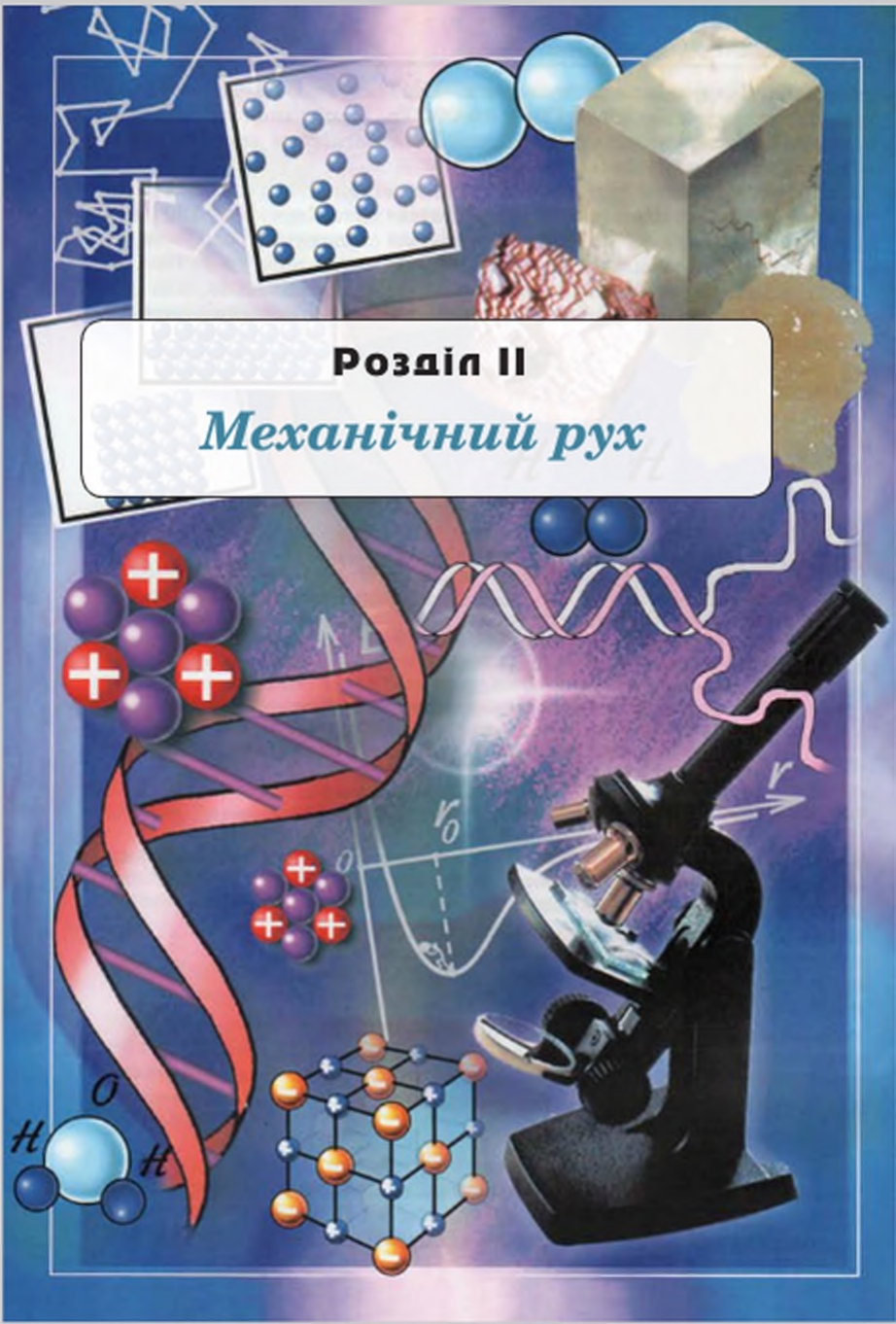
A: 2 мм, 30 см. B: 1 см, 30 мм.

B: 1 мм, 30 см. Г: 1 мм, 4 см.

11. Результат вимірювання довжини виявився рівним: $L = (4,5 \pm 0,5) \text{ мм}$. Яка абсолютна і відносна похибка вимірювання:A: $\Delta L = 0,5 \text{ мм}$, $\varepsilon(L) = 0,1$. B: $\Delta L = 0,5 \text{ мм}$, $\varepsilon(L) = 0,11$.B: $\Delta L = 0,1 \text{ мм}$, $\varepsilon(L) = 0,5$. Г: $\Delta L = 0,5 \text{ мм}$, $\varepsilon(L) = 4,5$.

12. Молекула води складається з:

А: одного атому Карбону і двох атомів Оксигену; Б: одного атому Гідрогену і двох атомів Оксигену; В: одного атому Оксигену і двох атомів Гідрогену; Г: одного атому Оксигену і двох атомів Карбону.



Розділ II
Механічний рух



§ 10. ЯК ОПИСУЮТЬ МЕХАНІЧНИЙ РУХ

Механічним рухом називають зміну положення тіла відносно інших тіл

Предмети, відносно яких ми визначаємо свій рух, називають тілами відліку. Тілом у фізиці прийнято називати довільні предмети: машини, м'ячі, планети, літаки, тощо. Коли ми їдемо автомобілем, то змінюємо своє положення відносно дороги, дерев, будинків чи інших автомобілів, тобто ми рухаємося відносно цих тіл відліку. Але ми не змінюємо свого положення відносно нашого автомобіля, тобто ми відносно нього не рухаємося.

Тіло відліку

Якщо тіла відліку немає або воно дуже далеко, то важко встановити, рухаємося ми чи знаходимося у стані спокою. Космонавтам на міжнародній космічній станції МКС (мал. 10.1) здається, ніби вони зависли в просторі, хоча насправді їх швидкість становить 8 км/с відносно Землі. Таке саме відчуття мають пасажери літака, що летить на значній висоті.

Сидячи в кімнаті, ми не відчуваємо, що рухаємося разом із Землею відносно Сонця з величезною швидкістю 30 км/с.



Мал. 10.1.

Космонавтам на МКС здається, ніби вони зависли у просторі, хоча насправді їхня швидкість становить 8 км/с

Система відліку

Система відліку – це тіло відліку, зв'язана з ним система, що дозволяє визначити положення в просторі (наприклад GPS) і наявність синхронізованого з системою навігації годинника.

Матеріальна точка – спрощена модель реального тіла



Мал. 10.2.

Слід від реактивного літака.

Фізичне тіло в механіці описують його розмірами, формою та масою. Часто в процесі руху тіло проходить відстані, набагато більші за його власні розміри. Наприклад, якщо автомобіль проїхав 100 км, то його власна кількіметрова довжина значно менша від пройденого шляху, отже, нею можна знехтувати, умовно вважаючи автомобіль просто точкою. При цьому припускають, що маса даної точки дорівнює масі автомобіля, а саму точку називають

матеріальною. Отже, матеріальна точка – це тіло, розмірами якого можна знехтувати порівняно з відстанями, які воно проходить під час руху. Літак, що летить в небі (мал. 10.2), або супутник на космічній орбіті можна розглядати як матеріальні точки. Такі спрощення часто використовують у фізиці і називають фізичними моделями. Таким чином, матеріальна точка є моделлю фізичного тіла.

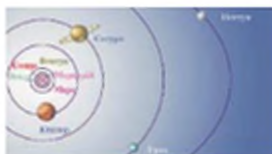


Мал. 10.3.
Рейки залізниці вказують траєкторію руху потяга

Траєкторія

Лінію, що її описує матеріальна точка під час руху, називають траєкторією. Іноді можна бачити, де пролягає траєкторія руху. Слід, що тягнеться за реактивним літаком (мал. 10.2), або рейки залізниці (мал. 10.3) дають певну уяву про траєкторію руху цих тіл.

Орбіти, якими рухаються планети навколо Сонця (мал. 10.4), невидимі, але їх можна обчислити. Ще в XVII ст. німецький астроном Йоганн Кеплер довів, що вони є еліпсами.



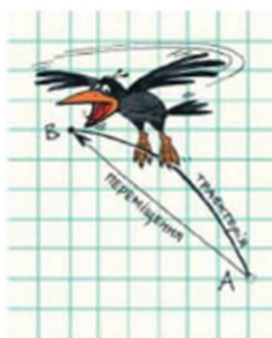
Мал. 10.4.
Кеплер довів, що орбіти (траєкторії) планет є еліпсами.

Шлях – це довжина траєкторії

Пройдений тілом шлях вимірюють вздовж траєкторії. Шлях позначають літерою «s», і вимірюють в СІ у метрах. Куди б не рухалося тіло – вперед чи назад – пройдений ним шлях тільки зростає.

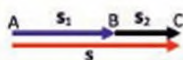
Переміщення. Скаляри і вектори

Нас може також цікавити, як далеко перемістилося тіло у своєму інколи досить запутаному русі. Для цього сполучаємо точки початкового і кінцевого положень тіла відрізком прямої лінії. На кінці відрізка зображуємо стрілку (мал. 10.5), яка вказує напрям переміщення.



Мал. 10.5.
Шлях і переміщення

Переміщення – це напрямлений відрізок прямої, який сполучає початкове і кінцеве положення тіла. Такі “направлені” відрізки в математиці називають векторами. Переміщення вимірюють у



Мал. 10.6.

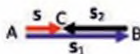
метрах, як і шлях, проте числові значення цих величин не завжди збігаються (мал. 10.6).

Додавання переміщень

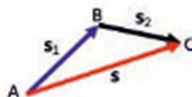
Переміщення позначають напіважирною « s », або « \vec{s} », де стрілка над літерою означає, що це «вектор». На малюнках вектори зображають стрілками (мал. 10.6). Нехай переміщення матеріальної точки з A в B (синя стрілка) становить 4 м, а з B в C (чорна стрілка) 3 м. Тоді загальне переміщення з A в C (червона стрілка) очевидно становить 7 м. У векторній формі послідовні переміщення з A в B , а потім в C записують так:

$$\vec{s}_1 + \vec{s}_2 = \vec{s} \quad (10.1)$$

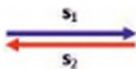
Якщо рух відбувався по прямій в одну сторону, то пройдений шлях збігається з величиною переміщення, тобто $s_1 + s_2 = s$ і загальний шлях також становить 7 м.



Мал. 10.7.



Мал. 10.8.



Мал. 10.9.

Якщо тіло переміщувалося так, як вказано на мал. 10.7, то загальне переміщення знову записується як $\vec{s}_1 + \vec{s}_2 = \vec{s}$, але величина загального переміщення вже становить 1 м. Загальний пройдений шлях у цьому випадку знову дорівнює $s = s_1 + s_2 = 7 \text{ м}$. Як бачите, величина переміщення і пройденого тілом шляху, в даному випадку, не співпадають.

* У загальному випадку, коли ви, наприклад, переходили сквер з A в B , а потім з B в C (мал. 10.8), загальне переміщення знову визначається як $\vec{s}_1 + \vec{s}_2 = \vec{s}$, але тепер розрахунок загального переміщення складніший. У такому випадку можна, наприклад, довжину стрілок накреслити в певному масштабі, а потім лінійкою виміряти довжину загального переміщення.

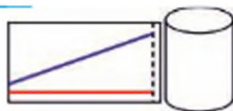
Якщо вектори однакові за величиною, але напрямлені протилежно один одному (мал. 10.9), то це записують так: $\vec{s}_1 = -\vec{s}_2$.

Правило додавання векторів можна сформулювати наступним чином: щоб додати два вектори, потрібно з кінця стрілки першого вектора провести другий вектор. Вектор суми сполучає початок першого вектора з кінцем другого (мал. 10.7-8).



Дослід 11.1

Згорніть прямокутник (мал. 10.10) і склейте вздовж пунктирної лінії, утворивши циліндр. а) Які траєкторії утворили синя і червона лінії? б) Як можна обчислити довжину цих траєкторій?



Мал. 10.10.

Підведемо підсумки

- Механічним рухом називають зміну положення тіла відносно інших тіл з часом.
- Система відліку дозволяє визначити положення тіла в просторі й описати його рух.
- Матеріальна точка – це тіло, розмірами якого за певних умов можна знехтувати.
- Шлях вимірюють вздовж траєкторії і це скалярна фізична величина.
- Переміщення – векторна фізична величина, яка з'єднує початкове і кінцеве положення матеріальної точки і вказує на напрям зміни положення точки.



Вправа 10

1. Поясніть, що таке «тіло відліку». Наведіть приклади.
2. Чому космонавти не відчувають руху космічної станції?
3. Навіщо вводять поняття матеріальної точки?
4. Де пролягає траєкторія потяга?
5. Яку форму мають орбіти планет?
6. За яким правилом додаються переміщення?
7. Що ми оплачуємо, коли ми подорожуємо літаком: шлях чи переміщення?
8. Накресліть траєкторію мурахи, яка дійшла від центра хвилинної стрілки годинника до її кінця за 1 хв.
9. Чи можна вважати автомобіль матеріальною точкою, коли він переїжджає міст завдовжки 15 м?
10. У якому випадку шлях і переміщення збігаються за величиною?
11. Автомобіль, рухаючись по прямому шосе з пункту А в пункт В проїхав 60 км, а потім повернув і проїхав у протилежному напрямі 20 км. а) На якій відстані від пункту А знаходиться автомобіль? б) Яка величина загального переміщення автомобіля? в) Який загальний шлях автомобіля? г) Накресліть вектори усіх переміщень автомобіля.
12. Яке найменше і яке найбільше переміщення можна отримати, додаючи два переміщення, модулі яких дорівнюють 3 м і 7 м?
13. Яким буде результат додавання двох переміщень, якщо вони рівні за модулем і протилежні за напрямом?
14. Гелікоптер, рухаючись на сталій висоті, перемістився на 30 км на північ, а потім на схід на 40 км. а) Зобразіть на рисунку маршрут гелікоптера, вибравши масштаб: 1 см = 100 км. б) Який шлях подолав гелікоптер? в) Зобразіть переміщення гелікоптера на малюнку. г) Якою буде величина загального переміщення гелікоптера?

15. Шлях, довжина, траєкторія, переміщення, швидкість, час. З перелічених термінів вкажіть а) фізичні, б) скалярні, в) векторні величини.

16*. Сформулюйте правило віднімання векторів, використовуючи правило додавання.

§ 11. РІВНОМІРНИЙ ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РУХ



Мал. 11.1.
Спідометр на панелі приладів
автомобіля

Ознайомимося з фізичною величиною, яка поєднує в собі відстань і час, – зі швидкістю, яку позначають літерою « v ». Величину швидкості показує спідометр автомобіля чи мотоцикла (мал. 11.1).

Швидкість має наступний фізичний зміст: вона показує, який шлях проходить тіло за одиницю часу (за 1 секунду, за 1 годину чи добу, місяць і т. д.). Наприклад, якщо автомобіль рухається зі сталою швидкістю 60 км/год., то це означає, що за 1 год. він проїде 60 км.

Рівномірний рух

Рух зі сталою за значенням і напрямом швидкістю називають рівномірним. Рівномірний рух може відбуватися тільки по прямолінійній траєкторії і в одному й тому ж напрямі. Під час рівномірного руху швидкість тіла однакова, незалежно від того, який за величиною відрізок часу чи шляху ми вибрали.

Якщо автомобіль рухається, наприклад, зі швидкістю 54 км/год., а нам треба дізнатися, який шлях він проходить за одну секунду, необхідно 54 км розділити на кількість секунд в 1 годині. Одна година має 60 хв., а 1 хв. – 60 с, тому 1 год. = 60·60 с = 3 600 с. Таким чином, за 1 с автомобіль проїде відстань $54 \text{ км} : 3600 = 0,015 \text{ км}$. Оскільки 1 км дорівнює 1000 м, то це означає, що за 1 с автомобіль проходить 15 м, або, іншими словами, його швидкість дорівнює 15 м/с.

І навпаки, якщо нам потрібно дізнатися, скільки км/год. становить швидкість 10 м/с (швидкість спринтера-рекордсмена), треба це число помножити на 3600 і розділити на 1000. Отримаємо 36 км/год.

При рівномірному русі величина шляху і часу однакові. За будь-які за величиною, але однакові проміжки часу тіло, що рухається рівномірно, проходить однакові відстані.

Формули

Для того, щоб коротше висловлювати свої думки, фізики послугуються мовою математики, тобто подають фізичні закономірності чи

поняття у вигляді формул. Щоб знайти швидкість « v » тіла, необхідно пройдений шлях « s » розділити на затрачений час « t »:

$$v = \frac{s}{t} \quad (11.1)$$

Знаючи швидкість і затрачений час, із (11.1) можемо знайти пройдений тілом шлях:

$$s = v \cdot t \quad (11.2)$$

Затрачений час, знаючи пройдений шлях і швидкість руху, можна знайти за допомогою формули:

$$t = \frac{s}{v} \quad (11.3)$$

За одиницю швидкості в Міжнародній системі одиниць СІ взято швидкість такого рівномірного руху, при якому матеріальна точка за 1 с проходить відстань 1 м:

$$[v] = \frac{M}{c}$$

Нагадаємо, що коли нас цікавить одиниця вимірювання фізичної величини, а не її числове значення, то цю величину пишуть у квадратних дужках. Наприклад: $v = 54 \text{ км/год.}$, а $[v] = \text{км/год.}$

Приклади розв'язування задач

Приклад 11.1

«Автомобіль».

З якою швидкістю рухається автомобіль автострадою, якщо за три години він, рухаючись рівномірно, проїхав 270 км?

Коротка умова задачі і розв'язання:

Дано: $s = 270 \text{ км}$ $t = 3 \text{ год.}$ $v = ?$	Розв'язання. За формулою $v = \frac{s}{t}$, знаходимо: $v = \frac{270 \text{ км}}{3 \text{ год.}} = 90 \frac{\text{км}}{\text{год.}}$
--	---

Відповідь. Швидкість автомобіля дорівнює 90 км/год.

Приклад 11.2

«Автобус на мосту» (мал. 11.2).

Який час витратить автобус довжиною $l = 10 \text{ м}$, що рухається зі швидкістю $v = 72 \text{ км/год.}$, щоб переїхати міст завдовжки $L = 100 \text{ м}$? Розв'яжіть задачу для двох випадків: а) вважаючи автобус матеріальною точкою, б) не вважаючи автобус матеріальною точкою. Визначте відносну похибку, допущену при застосуванні моделі матеріальної точки.



Мал. 11.2.
Автобус на мосту

Дано:

$$l = 10 \text{ м}$$

$$v = 2,5 \text{ км/год.}$$

$$L = 100 \text{ м}$$

 $t = ?$ **Розв'язання.****а)** Вважатимемо автобус матеріальною точкою.Тоді $t = \frac{L}{v}$. Перетворимо км/год, у м/с: $72 \cdot 1000 \text{ м} / 3600 \text{ с} = 20 \text{ м/с}$. Отримаємо:

$$t = \frac{100 \text{ м}}{20 \text{ м/с}} = 5 \text{ с.}$$

б) Розв'яжемо задачу точніше, не вважаючи автобус матеріальною точкою. Автобус знаходиться на мосту (мал. 11.3) від моменту, коли тільки торкнувся його передніми колесами, і до моменту, коли з'їхав із нього задніми колесами. Для цього йому доведеться пройти шлях $L + l = 110 \text{ м}$.

Тоді:

$$t = (L + l) / v; t = 110 \text{ м} / (20 \text{ м/с}) = 5,5 \text{ с.}$$

Абсолютна похибка при наближеному розв'язку складає $5,5 \text{ с} - 5 \text{ с} = 0,5 \text{ с}$. Відносна похибка становить:

$$0,5 \text{ с} / 5 \text{ с} = 0,1 \text{ або } 0,1 \cdot 100\% = 10\%.$$



Мал. 11.3.
Рух через міст

Відповідь. Автобус проїде міст за 5,5 с. Якщо вважати його матеріальною точкою, то наближена відповідь становить 5 с. При використанні моделі матеріальної точки похибка становить 10%.

Підведемо підсумки

- Рух зі сталою за значенням і напрямом швидкістю називають рівномірним.
- Швидкістю за шляхом називають відношення пройденого шляху до затраченого на це часу (при рівномірному русі).
- Фізичний зміст швидкості – вона показує пройдений за одиницю часу шлях.
- Швидкість, шлях або час руху можна обчислити, користуючись формулою $v = \frac{s}{t}$.



Вправа 11

1. Які вимірювання треба зробити, щоб визначити на досліді швидкість велосипедиста?
2. Тіло рухається рівномірно зі швидкістю 360 км/год. Що це означає?
3. Який рух називають рівномірним?
4. За якою формулою обчислюють шлях тіла, якщо відома швидкість його рівномірного руху і затрачений час?
5. За якою формулою обчислюють час руху тіла, якщо відома його швидкість і пройдений шлях?

6. Шлях чи переміщення покаже лічильник на спідометрі?
7. Як рухається автомобіль, якщо стрілка спідометра постійно рухається по шкалі?
8. Яка швидкість автомобіля у м/с, якщо він рухається зі швидкістю: 18 км/год., 54 км/год., 72 км/год., 90 і 108 км/год.?
9. За який час (у секундах) автомобіль, що рухається зі швидкістю 54 км/год., пройде відстань 300 м?
10. Яким транспортним засобом треба скористатись, щоб перегнати звук? Швидкість звуку становить приблизно 330 м/с.
11. Скільки часу (в секундах) потрібно потягу заводжки $l = 350 \text{ м}$, що рухається зі швидкістю $v = 54 \text{ км/год.}$, щоб проїхати міст заводжки $L = 100 \text{ м}$?
12. Існує два рекорди швидкості їзди на велосипеді: 60 км/год. і 268 км/год. а) Як таке може бути? б) Запишіть наведені швидкості у м/с.
- 13*. Жук рухається по прямій, долаючи кожну секунду один метр. Чи можна назвати такий рух рівномірним?
14. Скільки метрів за секунду пролітає пасажирський лайнер, що рухається зі швидкістю 900 км/год.?
15. Швидкість штучного супутника Землі 8 км/с. а) Що означає це число? б) Виразить швидкість супутника в км/год. і порівняйте її зі швидкістю літака (800 км/год.) та військового винищувача (2500 км/год.).

§ 12. ВІДНОСНІСТЬ РУХУ

Рух і спокій – поняття відносні

Коли кажуть, що рух відносний, то мають на увазі, що **переміщення, швидкість і траєкторія тіла залежать від того, відносно яких тіл відліку визначається рух.**

Мало сказати, що тіло рухається, слід ще вказати, відносно якого тіла відліку відбувається цей рух. Залежно від того, де знаходиться спостерігач, ми отримаємо різні відповіді.

Літак-винищувач може дозаправитися в повітрі тільки якщо його швидкість збігається за напрямом і дорівнює за значенням швидкості літака-заправника (мал. 12.1). Хоча літаки рухаються дуже швидко, один відносно одного вони знаходяться у стані спокою.

Іноді, сидячи в потязі, який ще не рушив (мал. 12.2) і глянувши у вікно на сусідній потяг, вам здається, що ви вже поїхали. Але виглянувши в протилежне



Мал. 12.1.
Зарядка в польоті



Мал. 12.2.
Рух і спокій відносні

вікно, помічаєте, що вокзал на місці. Так рухалися ви, чи ні? – таке запитання не має змісту. Відносно вокзалу не рухалися, а відносно сусіднього потягу – рухалися (як і він відносно вас).

У задачах «на відносність руху» треба вміти уявити себе чи то на місці одного спостерігача, чи то на місці іншого. Така манера думання схожа на роботу актора, який грає різні ролі у фільмах або виставах і повинен щоразу «вживатися» у чужий образ. У повсякденному житті також дуже важливо вміти уявити себе на місці іншої людини й проаналізувати хід її думок.

Приклади розв'язування задач «на відносність»

Приклад 12.1

Якщо стояти на ескалаторі (мал. 12.3), що рухається зі швидкістю 2 м/с, то ми будемо рухатися відносно стін разом з ескалатором зі швидкістю 2 м/с. Якщо ми йдемо в напрямі руху ескалатора зі швидкістю 0,5 м/с, то рухаємося відносно стін уже зі швидкістю 2,5 м/с. Якщо піти в тому самому темпі проти руху ескалатора, то він повезе нас назад зі швидкістю 1,5 м/с.



Мал. 12.3.
Рух по ескалатору

Приклад 12.2

Ви їдете автомобілем зі швидкістю 40 км/год., а вас наздоганяє інший автомобіль, швидкість якого 60 км/год. (мал. 12.4). Хоча швидкість наздоганяючого автомобіля відносно дороги достатньо велика, ви помічаєте, що зближення іде повільно. Швидкість автомобіля, що наздоганяє вас з вашої точки зору тільки 20 км/год. Позначимо швидкість другого автомобіля відносно першого $v_{21} = 20$ км/год. (читають «ве два-один»). Якби задній автомобіль мав таку саму швидкість як ваш, він узагалі не міг би вас перегнати.



Мал. 12.4.

Під час обгону швидкість зближення цих автомобілів становить: $v_{21} = 20$ км/год

Приклад 12.3

Розглянемо ситуацію, коли ви їдете автомобілем зі швидкістю 40 км/год., а інший автомобіль рухається вам назустріч (мал. 12.5). Тепер швидкість зближення велика: $v_{21} = 100$ км/год. Чому так виходить?

а) Спочатку розглянемо рух із точки зору спостерігача, який знаходиться на нерухомій дорозі. Він може міркувати так. За одну годину

перший автомобіль проїде 40 км, а другий назустріч першому 60 км. Таким чином, за одну годину вони зближаться на 100 км. Отже, швидкість їх взаємного зближення становить 100 км/год.



Мал. 12.5.

Під час руху назустріч швидкість зближення збільшується $v_{\Sigma} = 60$ км/год

б) А ось як міркували б ви як спостерігач, що знаходиться в першому автомобілі. Рух відносний, тому ви з таким самим успіхом можете вважати, що ваш автомобіль не рухається, а дорога разом із зустрічним автомобілем рухається до вас зі швидкістю 40 км/год. Зустрічний автомобіль, окрім того, рухається відносно дороги зі швидкістю 60 км/год, у тому самому напрямі. Якщо до швидкості дороги додати швидкість другого автомобіля, то отримаємо 100 км/год.

Підведемо підсумки

- Переміщення, швидкість і траєкторія тіла залежать від того, відносно яких тіл відліку визначається рух.
- Якщо одне тіло наздоганяє інше, то вони зближаються повільно.
- Якщо тіла рухаються назустріч, то вони зближаються швидко.



Теорчі завдання

12.1. З якою швидкістю рухається Сонячна система відносно центра Галактики, і з якою – разом з галактикою?



Вправа 12

1. Чи можна рухатися відносно одних тіл і бути у спокої відносно інших? Наведіть приклади.
2. Якою повинна бути швидкість винищувача відносно літака-заправника (мал. 12.1), щоб заправка могла відбутися належним чином?
3. Чому ми не відчуваємо руху Землі?
4. Чому Сонце рухається по небу протягом дня?
5. З якою швидкістю рухається пасажир, якщо він сидить за столиком у вагоні потяга?
6. У чому полягає відносність руху?
7. Чому швидкість зустрічного автомобіля збільшується, ніби стрибком, у той момент, коли він проїжджає повз ваш автомобіль?
8. Чи залежить вигляд траєкторії тіла від вибору тіла відліку? Наведіть приклади.
9. Накресліть траєкторію вантажу, скинутого з літака, з точки зору льотчика, що летить паралельним курсом з такою самою швидкістю, і з точки зору спостерігача на землі.
10. З якою швидкістю треба рухатися ескалатором, щоб: а) залишатися нерухомим відносно стін? б) рухатися поряд із пасажиром зустрічного ескалатора?
11. Швидкість велосипедиста 36 км/год., а швидкість зустрічного вітру 4 м/с. Знайдіть швидкість вітру відносно велосипедиста (в м/с).

12. Швидкість ескалятора $0,75 \text{ м/с}$. Знайдіть час, за який пасажир переміститься на 20 м відносно стін, якщо він іде в напрямі руху ескалятора зі швидкістю $0,25 \text{ м/с}$.

13. Колона військ під час походу розтягнулася на 400 м і рухається зі швидкістю 5 км/год . Із кінця колони до її початку посилають із дорученням велосипедиста, швидкість якого 25 км/год . Виконавши доручення, він одразу ж повертається назад. Скільки часу (в хв) було витрачено на поїздку?

14. Два потяги рухаються паралельними коліями назустріч один одному. Їх швидкості становлять 72 км/год і 54 км/год , відповідно. Пасажир, який перебуває в першому потязі, помітив, що другий потяг пройшов повз нього за 6 с . Яка довжина другого потяга?

15. Вагон має ширину $2,4 \text{ м}$ і рухається зі швидкістю 15 м/с . Його навипіт пробиває куля, що летіла перпендикулярно до руху вагона. Зміщення отворів у стінках дорівнює 6 см . Якою була швидкість кулі?

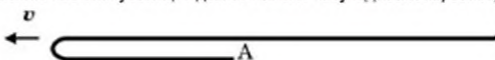
16. Ескалатор метро піднімає пасажирів за 1 хв . Нерухомим ескалатором пасажир піднімається за 3 хв . Скільки часу піднімається пасажир, ідучи рухомим ескалатором?

17. Ескалатор опускає пасажирів, який іде вниз по ньому, за 1 хв . Якщо пасажир ітме вдвічі швидше, то він подолає цей шлях за 45 с . Скільки часу витратить пасажир, який стоїть на ескалаторі?

18. Хлопчик біжить ескалатором. За перший раз він налічив 50 сходинок. За другий раз, рухаючись у тому самому напрямі зі швидкістю, втричі більшою, він налічив 75 сходинок. а) За, чи проти руху ескалатора рухається хлопчик? б) Скільки сходинок налічить хлопчик на нерухомому ескалаторі?

19*. Трактор рухається зі швидкістю 3 м/с . Знайдіть швидкість точки А на верхній частині гусениці й точки В на нижній частині гусениці в даний момент часу відносно: а) землі; б) трактора.

20*. Уявіть, що ви рухаєте зі швидкістю 10 см/с по гладкому столу масивний ланцюжок завдовжки 50 см , тримаю-



Мал. 12.6.
Ланцюжок, вид зверху

чи його за один з кінців (точка А на мал. 12.6), і в деякий момент часу зупинили руку. Якась частина ланцюжка зупиниться, а інша частина (яка поступово вкорочується) продовжуватиме свій рух повз точку А. а) Яка довжина ланцюжка зупиниться через 3 с ? б) Через який час з моменту зупинки руки зупиниться увесь ланцюжок? Знехтуйте зменшенням швидкості ланцюжка внаслідок тертя.

§ 13. ЗАКОН ДОДАВАННЯ ШВИДКОСТЕЙ

Швидкість руху з точки зору рухомої і нерухомої системи відліку

Проведемо «мисливий експеримент». Розглянемо випадок, коли ви пливете в моторному човні озером зі швидкістю 4 м/с . Уявімо, що іншим разом у тому самому човні ви пливете вниз за течією річки (мал. 13.1). Нехай швидкість течії становить 1 м/с (звісно, відносно берега). Пропливаючи повз дерево, ви вмикате секундомір. На якій відстані від дерева



Мал. 13.1.

Швидкість човна відносно
плато і берега різна

трібно до швидкості човна відносно води (тобто у стоячій воді) додати швидкість течії відносно берега.

Векторна швидкість руху

Узагальнимо наше спостереження. Переміщення човна відносно води вниз за течією \vec{s}_1 становить за величиною 40 м, а переміщення разом з водою \vec{s}_2 – 10 м. Загальне переміщення відносно берега становить 50 м, отже $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$. Введемо тепер **векторну швидкість** (або швидкість за переміщенням), яка визначається так:

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t} \quad (13.1)$$

Згідно з формулою (13.1) вектор швидкості напрямлений за вектором переміщення.

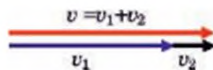
Оскільки $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$, то $\vec{v} = \frac{\vec{s}_1 + \vec{s}_2}{t} = \frac{\vec{s}_1}{t} + \frac{\vec{s}_2}{t}$ звідки випливає:

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 \quad (13.2)$$

Закон додавання швидкостей

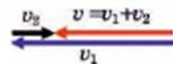
Рівняння (13.2) називають **законом додавання швидкостей**. Фізичний зміст закону такий: швидкість човна (мал. 13.2) відносно берега (червона стрілка) дорівнює швидкості човна відносно води (синя стрілка) плюс швидкість течії (переносна швидкість) відносно берега (чорна стрілка). У нашому прикладі швидкість човна відносно води становить 4 м/с, переносна швидкість дорівнює 1 м/с, а швидкість човна відносно берега становить 5 м/с.

Подивимся, якою буде швидкість човна відносно берега, якщо човен пливе проти течії. За ті самі 10 с у стоячій воді ви пропливли б 40 м. Вода знесла ваш човен униз за течією на 10 м. У результаті ви змістилися відносно дерева лише на 30 м. Ваша швидкість відносно берега тепер складає 3 м/с, тобто $4 \text{ м/с} - 1 \text{ м/с} = 3 \text{ м/с}$. Але векторні швидкості знову додаються (мал. 13.3): швидкість човна



Мал. 13.2.

При відносному русі
швидкості додаються



Мал. 13.3.

При русі проти течії
вектори знову
додаються

відносно берега (червона стрілка) дорівнює швидкості човна відносно води (відносна швидкість – синя стрілка) плюс (згідно з правилами додавання векторів) швидкість течії (переносна швидкість) відносно берега (чорна стрілка).

Обидва випадки ми розглядали з точки зору спостерігача, який перебуває на березі.

Швидкість руху човна відносно води не залежить від напрямку руху

Тепер уявімо собі, що кожного разу, коли наш човен пропливає повз дерево, там знаходиться ще й пліт. Пліт не має двигуна й рухається вниз за течією зі швидкістю течії. З'ясуємо, якою буде ваша швидкість відносно спостерігача, що знаходиться на плоту. У першому випадку, коли ви пливете вниз за течією, через 10 с ви опинитесь на відстані 40 м від плоту, оскільки за ті самі 10 с течія знесла його на 10 м вниз.

У другому випадку, рухаючись угору проти течії, ви знову опинитесь на відстані 40 м від плоту, оскільки змістилися проти течії на 30 м відносно берега, а пліт течія знесла на 10 м вниз.

Виявляється, що, рухаючись вниз за течією чи вгору проти течії, за 10 с ви переміщуєтеся відносно плоту однаково. Це означає, що ваша швидкість відносно плоту одна й та сама, куди б ви не рухалися. У цьому немає нічого дивного. Адже для того, щоб рухатись, лопаті двигуна мусять відштовхуватися від води й рухати човен. Швидкість цього руху відносно води не залежить від того, рухається вода (як у річці) чи вона стояча (як в озері).

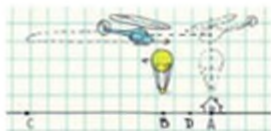
Рухомі і нерухомі системи відліку рівноправні

Рух човна з погляду спостерігача на березі та з погляду спостерігача на плоту виглядає по-різному. Але вони обидва по-своєму мають рацію. Щоправда, при розрахунках може виявитися зручнішим спостерігати за човном із плоту, а не з берега, чи навпаки. Розв'язуючи задачі, ви навчитеся вибирати “вигідні” тіла відліку.

Приклад 13.1

Гелікоптер. Пролітаючи над пунктом А, пілот наздогнав повітряну кулю, яку зносило вітром по курсу гелікоптера (мал. 13.4). Через 0,5 год. пілот повернув назад і згодом зустрів повітряну кулю на віддалі 30 км від пункту А. Якою була швидкість вітру?

а) Розв'язання в системі відліку “земля”. Нехай точка С – місце розвертання гелікоптера через $t_{AC} = 0,5$ год. після



Мал. 13.4.

Відносно кулі гелікоптер рухається з однаковою швидкістю

зустрічі з повітряною кулею над пунктом A , а точка B – місце повторної зустрічі гелікоптера й кулі через час t_{CB} після розвертання гелікоптера в точці C . Нехай u – швидкість вітру, v – швидкість гелікоптера відносно повітря. Тоді $v+u$ – швидкість гелікоптера відносно землі в напрямку ABC , $v-u$ – швидкість гелікоптера відносно землі в напрямі CB (проти вітру):

$$s_{AC} = (v+u) \cdot t_{AC}; \quad s_{CB} = (v-u) \cdot t_{CB}; \quad s_{AB} = u \cdot (t_{AC} + t_{CB}).$$

У той момент часу, коли гелікоптер був у точці C , куля знаходилася в деякій проміжній точці D . За той час, поки гелікоптер долетів із точки C у пункт B , куля перемістилася з D у B . Швидкість повітряної кулі дорівнює швидкості вітру u . Очевидно, що $s_{AC} - s_{CB} = s_{AB}$. Підставивши сюди вирази для s_{AC} , s_{CB} та s_{AB} , отримаємо: $(v+u) \cdot t_{AC} - (v-u) \cdot t_{CB} = u \cdot (t_{AC} + t_{CB})$. Після нескладних перетворень знаходимо, що $t_{AC} = t_{CB}$. Тоді $(t_{AC} + t_{CB}) = 120 \text{ год.}$, а швидкість вітру дорівнює $u = 30 \text{ км/год.}$

Відповідь. Швидкість вітру дорівнює 30 км/год.

Співвідношення $t_{AC} = t_{CB}$ видається досить дивним. Але його зміст стає зрозумілим, якщо розв'язати задачу інакше.

б) Розв'язання з погляду тіла відліку «повітряна куля». Відносно повітря куля не рухається. Швидкість гелікоптера відносно кулі одна і та сама в довільному напрямі (тобто дорівнює v), тому час віддалення гелікоптера від кулі ($0,5 \text{ год.}$) дорівнює часу його наближення до неї. Весь час польоту кулі з A до B дорівнює 1 год. і розв'язок задачі очевидний.

Ця задача показує, наскільки зручним може бути вдалий вибір системи відліку.

Підведемо підсумки

- Векторна швидкість дорівнює відношенню переміщення до часу руху: $\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$.
- Якщо одне тіло наздоганяє інше, то вони зближуються повільно.
- Якщо тіла рухаються назустріч, то вони зближуються швидко.
- Швидкість тіла відносно нерухомої системи відліку дорівнює сумі відносної і переносної швидкостей тіла: $\vec{v}_{\text{визн}} = \vec{v}_{\text{відн}} + \vec{v}_{\text{переносна}}$.



Теорчі завдання

13.1. Сформулюйте критерій, згідно з яким можна вибрати «найкращу» систему відліку.



Вправа 13

1. Чим швидкість за переміщенням відрізняється від швидкості за шляхом?
2. Куди напрямлена векторна швидкість?
3. В чому полягає закон додавання швидкостей?

4. Чому в прикладі 13.1. вигідніше міркувати з точки зору спостерігачів, які знаходяться на повітряній кулі?

5. Ви перебуваєте в човні, навколо вас вода, туман, берега не видно, до дна дістати неможливо. Як визначити – річка це чи озеро? (Це дискусійна задача; не віритися, але не існує методів визначення руху в даному випадку!).

6. Яку форму мають хвилі, утворені кинутим у річку каменем, з точки зору спостерігача, що знаходиться: а) на березі, б) на плоту?

7. Вода несе човен поряд із плотом униз за течією. Що легше веслярем: відстати на 10 м від плоту, чи на стільки ж перегнати його?

8. Рухаючись катером униз за течією річки, ви загубили рятувальний круг. Через 5 хв. опісля, розвернувши катер, ви пливете назад. Через який час після розвороту ви підберете круг?

9. Між двома пунктами, розташованими на березі річки на відстані 100 км один від одного, курсує катер. Пливучи за течією, катер витрачає 4 год., а проти течії – 10 год. Визначте: а) швидкість течії; б) швидкість катера відносно води.

10. Моторний човен проходить віддалі між пунктами А і В за 3 год., а пліт – за 12 год. Скільки часу витратить човен на зворотний шлях?

11*. Плов пристань пропливає пліт. У цей момент до села, що знаходиться на відстані 15 км униз за течією від пристані, відправляється моторний човен. Він приходить до села через 45 хв. і, повертаючись назад, зустрічає пліт на відстані 9 км від села. Знайдіть: а) швидкість течії; б) швидкість човна відносно води. Вважайте, що човен в селі не затримався.

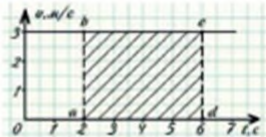
12*. Моторний човен проходить одну й ту саму відстань туди й назад уздовж берега річки та в озері. У якому з випадків він затратить для проходження всього шляху більше часу?

§ 14. ГРАФІКИ ШЛЯХУ І ШВИДКОСТІ

Визначення шляху на графіку швидкості

У фізиці й математиці використовують три способи подання інформації про зв'язок між різними величинами: а) у вигляді формули, наприклад, $s = v \cdot t$; б) у вигляді таблиці; в) у вигляді графіка (малюнка).

Залежність швидкості від часу $v(t)$ – **графік швидкості**, зображається за допомогою двох взаємно перпендикулярних осей. Уздовж горизонтальної осі відкладаємо час, а вздовж вертикальної – швидкість (мал. 14.1). Треба завчасно продумати масштаб, щоб рисунок не був надто великим або надто малим. Біля кінця осі вказують літеру, яка є позначенням



Мал. 14.1.

Графік швидкості тіла, що рівномірно рухається зі швидкістю 3 м/с. Шлях, пройдений тілом з 2-ї по 6-ту секунди, чисельно дорівнює площі заштрихованого прямокутника abcd

величини, що на ній відкладається. Біля літери зазначають одиницю вимірювання цієї величини. Наприклад, біля осі часу вказують t, c , а біля осі швидкості – $v(t), м/с$. Вибирають масштаб і наносять поділки на кожну вісь.

Зображення рівномірного руху таблицею і графіками

Розглянемо рівномірний рух тіла зі швидкістю $3 м/с$, тобто числове значення швидкості буде сталим упродовж всього часу руху. Скорочено це записують так: $v = const$ (константа, тобто стала величина). У нашому прикладі вона дорівнює трьом: $v = 3 \frac{м}{с}$. Ви вже знаєте, що інформацію про залежність однієї величини від іншої можна подавати у вигляді таблиці (масиву, як кажуть в інформатиці):

t, c	0	1	2	3	4	5	6	7
$v, м/с$	3	3	3	3	3	3	3	3

Із таблиці видно, що в усі вказані моменти часу швидкість дорівнює $3 м/с$. Нехай масштаб осі часу $2 кл. = 1 с$, а осі швидкості $2 кл. = 1 м/с$. Графік залежності швидкості від часу (скорочено кажуть: графік швидкості) наведено на малюнку 14.1.

За допомогою графіка швидкості можна знаходити шлях, який тіло проходить за певний інтервал часу. Для цього треба зіставити два факти: з одного боку, шлях можна знайти, помноживши швидкість на час, а з іншого – добуток швидкості на час, як видно із малюнка – це площа прямокутника зі сторонами t і v .

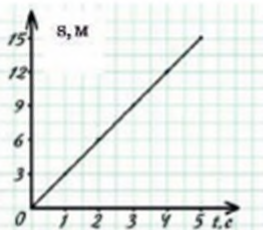
Наприклад, з другої дошої секунди тіло рухалося упродовж чотирьох секунд і пройшло $3 м/с \cdot 4 с = 12 м$. Це площа прямокутника $abcd$, довжина якого дорівнює $4 с$ (відрізок ad вздовж осі часу) і висота $3 м/с$ (відрізок ab вздовж вертикалі). Площа, щоправда, дещо незвична, оскільки вимірюється не в $м^2$, а в $м$. Отже, площа під графіком швидкості чисельно дорівнює пройденому шляху.

Графік шляху

Графік шляху $s(t)$ можна зобразити, використовуючи формулу $s = v \cdot t$, тобто в нашому випадку, коли швидкість становить $3 м/с$: $s = 3 \cdot t$. Побудуємо таблицю:

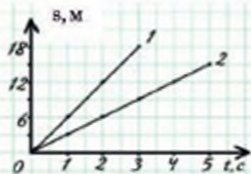
t, c	0	1	2	3	4	5
$s, м$	0	3	6	9	12	15

Уздовж горизонтальної осі знову відкладають час (t, c), а вздовж вертикальної – шлях. Біля осі шляху пишемо: $s, м$ (мал. 14.2).



Мал. 14.2.

Графік шляху. Решта точок, крім шести, вказаних у таблиці, поставлені в припущенні, що рух утворює весь час був рівномірним



Мал. 14.3.

Графік шляху у випадку різних швидкостей

Визначення швидкості на графіку шляху

Зобразимо тепер на одному малюнку два графіки, які відповідатимуть рухам зі швидкостями 3 м/с (пряма 2) і 6 м/с (пряма 1) (мал. 14.3). Видно, що чим більша швидкість тіла, тим крутіша лінія точок графіка.

Існує й обернена задача: маючи графік руху, потрібно визначити швидкість і записати рівняння шляху (мал. 14.3). Розглянемо пряму 2. Від початку руху і до моменту часу $t = 2$ с тіло пройшло шлях $s = 6$ м. Отже, його швидкість:

$$v = \frac{6 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Вибір іншого інтервалу часу нічого не змінить, наприклад, на момент $t = 4$ с шлях, пройдений тілом від початку руху, становить $s = 12$ м. Відношення знову дорівнює 3 м/с. Але так і повинно бути, оскільки тіло рухається зі сталою швидкістю. Тому найпростіше було б вибрати інтервал часу 1 с, адже шлях, пройдений тілом за одну секунду, чисельно дорівнює швидкості. Шлях, пройдений першим тілом (графік 1) за 1 с, дорівнює 6 м, тобто швидкість першого тіла дорівнює 6 м/с. Відповідні залежності шляху від часу у цих двох тіл будуть:

$$s_1 = 6 \cdot t \text{ і } s_2 = 3 \cdot t.$$

Підведемо підсумки

- У фізиці використовують три способи подачі інформації: графічний, аналітичний (формулами) і таблицею (масивом). Третій спосіб більш пристосований для розв'язання на комп'ютері.
- Шлях чисельно дорівнює площі під графіком швидкості.
- Чим крутіший графік $v(t)$, тим більша швидкість.



Теорчі завдання

14.1. Накресліть графіки швидкості і шляху, коли швидкість тіла рівномірно збільшується, або зменшується.



Вправа 14

- Як визначають шлях на графіку швидкості?
- Чи можна записати формулу для залежності шляху від часу, маючи графік $v(t)$?

3. Чи зміниться кут нахилу графіку шляху, якщо масштаб на осях зменшити вдвічі?

4. Чому графік шляху рівномірного руху зображається прямою?

5. Яке з тіл (мал. 14.4) має найбільшу швидкість?

6. Назвіть три способи подання інформації про рух тіла, а також (на вашу думку) їхні переваги й недоліки.

7. Як можна визначити шлях за графіком швидкості?

8. а) Чим відрізняються графіки шляху для тіл, що рухаються з різними швидкостями? б) Що в них спільного?

9. За графіком (мал. 14.1) знайдіть шлях, пройдений тілом від початку першої до кінця третьої секунди.

10. Який шлях пройшло тіло (мал. 14.2) за: а) дві секунди; б) чотири секунди? в) Укажіть, де починається третя секунда руху, і де вона закінчується.

11. Зобразіть на графіках швидкості та шляху рух зі швидкістю а) 4 м/с; б) 2 м/с.

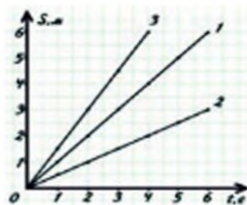
12. Запишіть формулу залежності шляху від часу для рухів, зображених на мал. 14.3.

13. а) Знайдіть швидкості тіл за графіками (мал. 14.4); б) запишіть відповідні рівняння шляху й швидкості. в) Побудуйте графіки швидкості цих тіл.

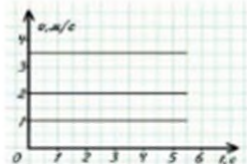
14. Побудуйте графіки шляху й швидкості для тіл, рухи яких задані рівняннями: $s_1 = 5 \cdot t$ і $s_2 = 6 \cdot t$. Чому дорівнюють швидкості тіл?

15. За графіками (мал. 14.5) визначте: а) швидкості тіл; б) шляхи, пройдені ними за перші 5 с. в) Запишіть рівняння шляху й побудуйте відповідні графіки для усіх трьох рухів.

16*. Накресліть графік шляху для руху першого тіла відносно другого (мал. 14.3).



Мал. 14.4.



Мал. 14.5.

§ 15. НЕРІВНОМІРНИЙ РУХ

Тіла рухаються рівномірно тільки в тому випадку, коли вони рухаються прямолінійно, зі сталою швидкістю і в одному напрямі, а це трапляється рідко. Здебільшого швидкість руху з різних причин змінюється. Рух, при якому швидкість тіла змінюється, називають *нерівномірним*.

Середня швидкість руху

Для опису нерівномірного руху використовують поняття *середньої швидкості* $v_{\text{ср}}$. Щоб знайти середню швидкість за даний інтервал часу (t), треба весь пройдений тілом шлях (s) розділити на весь затрачений час (включно з часом зупинок).

Формула для розрахунку середньої швидкості $v_{\text{ср}}$ та сама, що й для рівномірного руху:

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{t}, \quad (15.1)$$

але зміст величин s і t інший: s – це весь пройдений тілом шлях, а t – увесь затрачений на це час.

Середню швидкість руху необхідно знати, якщо ми хочемо оцінити загальний час, необхідний для подорожі. **Якби тіло рухалося рівномірно зі швидкістю, яка дорівнює середній швидкості, то воно пройшло б увесь шлях за увесь час нерівномірного руху.**

*Якщо у формулу (15.1) замість пройденого шляху « s » підставити вектор переміщення \vec{s} , то отримаємо *середню швидкість переміщення*:

$\vec{v}_{\text{ср}} = \frac{\vec{s}}{t}$, яка за величиною завжди менша, ніж середня швидкість пройденого шляху, крім випадку, коли рух відбувається по прямій і направлений увесь час в один і той самий бік. Тоді ці швидкості рівні.

Приклади розв'язування задач

Приклад 15.1

Машиніст.

Уявіть себе машиністом, який веде 12-вагонний потяг із пункту А в пункт В, із середньою швидкістю $v_{\text{ср}} = 60 \text{ км/год}$. Потяг робить 8 зупинок, на які витрачає загалом $t_z = 40 \text{ хв}$. Відстань між пунктами – $s = 240 \text{ км}$. **а)** Скільки часу t потяг перебуватиме в русі? **б)** За який час t_p пройдено перші 120 км? **в)** Скільки років машиністові?



Розв'язання. **а)** Щоб знайти повний час подорожі, треба весь пройдений шлях – 240 км – розділити на середню швидкість – 60 км/год. Отже, повний час подорожі становить 4 год. Від цього значення треба відняти час, що був витрачений на зупинки. У результаті отримаємо: 3 год. і 20 хв.

б) Інформації, наведеної в умові, недостатньо, щоб відповісти на це запитання. Ми не можемо дізнатись, скільки часу займе половина дорogi, оскільки середня швидкість на цьому відрізку може бути іншою, і вона нам не відома. Негативна відповідь у фізиці, якщо вона достатньо аргументована, також цінна.

в) Скільки років машиністові?

Підказка. Третє запитання і складніше, і простіше за усі інші. Воно не потребує числового розрахунку, а лише вашої уваги.

Приклад 15.2

„Равлик на стовпі”.

Равлик починає повзти вгору по стовпу, висота якого 6 м. За 12 денних годин він рівномірно просувається вгору на 2 м, а вночі, під час сну, рівномірно з'їжджає вниз на 1 м.

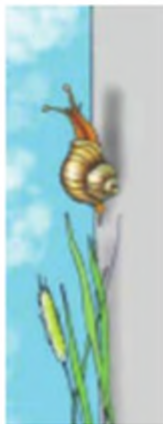
а) За який *найменший* час равлик досягне вершини стовпа?

б) Знайдіть переміщення й шлях равлика за 4 доби, швидкість долання шляху і швидкість переміщення.

Розв'язання.

а) Швидка й неправильна відповідь – за 6 діб. Насправді равлик досягає вершини швидше. За 4 доби він опиниться на висоті 4 м. Цієї висоти він досягне на світанку п'ятого дня після нічного відпочинку. За п'ятий день він підніметься на 2 м і, отже, досягне вершини. Усього йому потрібно для подолання цього шляху $4 \cdot 24 + 12 = 108 \text{ год}$.

б) За добу равлик переміщується на 2 м вгору і на 1 м униз, тобто загальний шлях становить 3 м. Увесь шлях за 4 доби складе $s = 12 \text{ м}$, а переміщення становитиме лише 4 м. Вектор переміщення сполучає початок стовпа та точку на висоті 4 м і спрямований угору. Середня швидкість проходження равликом шляху становить 3 м за добу (2 м вгору і 1 м униз: $v_{cp} = 3 \text{ м/за добу}$). Середня швидкість переміщення за добу дорівнює 1 м/добу.



Приклад 15.3

«Маршрутний автобус».

Між двома містами курсує автобус. Із міста А у місто В він їде зі сталою швидкістю 40 км/год., а назад повертається зі сталою швидкістю 60 км/год. Вважаючи час розвороту дуже малим, знайдіть середню швидкість руху на всьому шляху А–В–А.

Підказка. Відповідь 50 км/год. неправильна. Середня швидкість визначається як відношення всього пройденого шляху до повного часу руху. Складність цієї задачі полягає ще в тому, що в умові не дано ані часу руху, ані відстані між містами. Будьте сміливішими і введіть їх у розв'язок.

Розв'язання. Позначимо відстань між містами А та В літерою « s ». Швидкість руху з А до В позначимо v_1 , час – t_1 , а швидкість та час під час повернення із В до А – через v_2 і t_2 відповідно. Згідно з умовою:

$$v_{cp} = \frac{s + s}{t_1 + t_2}. \quad (15.2)$$

Підставимо час t_1 і t_2 у формулу (15.2):

$$v_{cp} = \frac{2s}{\frac{s}{v_1} + \frac{s}{v_2}} = \frac{2s}{\frac{sv_2 + sv_1}{v_1v_2}} = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2} = 48 \text{ км/год.}$$

Відповідь. Середня швидкість автобуса на усьому маршруті становить 48 км/год.

Підведемо підсумки

- Рух зі змінною швидкістю називають нерівномірним.
- Середньою швидкістю v_{cp} за деякий час називають відношення усього пройденого шляху до усього затраченого часу t (включно з зупинками).
- Якщо рухатися рівномірно з середньою швидкістю, то за весь час руху буде пройдено увесь шлях.

Навчальний проєкт

«Визначення середньої швидкості нерівномірного руху».

Визначте середню швидкість падіння повітряної кульки з деякої висоти. Опишіть:

1. Які прилади ви використали.
2. За якою формулою обчислили середню швидкість.
3. Запишіть значення середньої швидкості кульки.
4. Поясніть, чому рух кульки не є рівномірним.
5. Перечисліть чинники, які суттєво вплинули на точність визначення швидкості.



Вправа 15

1. Чим середня швидкість при нерівномірному русі відрізняється від швидкості рівномірного руху?

2. Чому рівномірний рух простіше описувати, ніж нерівномірний?

3. При рівномірному русі тіло за однакові проміжки часу проходить .?.

4. При нерівномірному русі тіло за однакові проміжки часу проходить .?.

5. Чому дорівнює середня швидкість руху при рівномірному русі?

6. Автомобіль їхав 2 години зі швидкістю 60 км/год., потім зробив зупинку на 0,5 год. і продовжив рух зі швидкістю 80 км/год. на протязі 1,5 год. Якою була середня швидкість автомобіля на усьому шляху?

7. Туристи пройшли рівниною відстань 5 км за 1,5 год., потім зупинилися на відпочинок на 0,5 год. і продовжили рух в гори, пройшовши ще 3 км за 2 год. З якою середньою швидкістю рухалися туристи на усьому маршруті?

8. Чому не можна сказати нічого певного про швидкість і шлях тіла при нерівномірному русі за довільний інтервал часу, навіть якщо відомі середня швидкість і повний час руху?

9. Побудуйте приблизні графіки швидкості та шляху тіла (без чисел і масштабу), яке: а) збільшує швидкість; б) зменшує швидкість; в) спочатку збільшує, а потім зменшує свою швидкість.

10. Ви поїздили на велосипеді (без трюків!) і поставили його на місце. а) Чому дорівнює остаточне переміщення? б) Яке колесо велосипеда пройшло більший шлях – переднє чи заднє? Підказка. Поспостерігайте за траєкторіями переднього і заднього коліс (це легко зробити, намочивши їх) і ви все зрозумієте.

11*. Людина, яка знаходиться на відстані 20 м від паркана, починає рівномірно наблизитись до нього зі швидкістю 1 м/с. Одночасно з людиною до паркана біжить собака зі швидкістю 2 м/с. Собака добігає до паркана й повертається назад до людини і т. д. Який шлях пробіжить собака, поки людина дійде до паркана?



12*. Перша машина їхала половину всього часу руху зі швидкістю 40 км/год., а решту часу – зі швидкістю 60 км/год. Друга машина рухалася стільки само часу, як і перша, але зі сталою швидкістю 50 км/год. Яка з машин проїхала більшу відстань?

13*. Автомобіль проїхав першу половину шляху зі швидкістю 40 км/год., а другу – зі швидкістю 60 км/год. Автобус увесь час їхав зі швидкістю 50 км/год. Яка з машин витратила на всю дорогу менше часу?

14*. Доведіть за допомогою графіка швидкості, що при нерівномірному русі середня швидкість менша за найбільше значення швидкості на даному проміжку часу.

15*. Поясніть без обчислень, чому в прикладі 15.2 середня швидкість менша за 50 км/год.

§ 16. РІВНОМІРНИЙ РУХ ПО КОЛУ

Обертаються навколо осі: стрілки годинника (мал. 16.1), колеса велосипеда (мал. 16.3). Багато деталей машин та механізмів здійснюють обертальний рух, бо його дуже просто реалізувати.

Тіло може обертатися навколо осі, яка лежить поза його межами або навколо кількох осей: наприклад, кабіни колеса огляду (мал. 16.2). Наша планета Земля обертається навколо власної осі і навколо Сонця.

Період обертання

Розглянемо **рівномірне обертання тіла**, коли кожен оберт здійснюється за один і той самий час. **Час, упродовж якого тіло здійснює один оберт, називають його періодом обертання** й позначають літерою T . Період вимірюють в одиницях часу: секундах, хвилинах, годинах, добах, місяцях, роках. Наприклад, період обертання Землі навколо власної осі дорівнює одній добі, тоді як період обертання секундної стрілки годинника становить 60 с (мал. 16.2), або 1 хв. Якщо за час t тіло зробило N обертів, то його період обертання T визначається як:

$$T = \frac{t}{N}. \quad (16.1)$$

Кожна точка тіла, що обертається навколо нерухомої осі, описує коло

Довжина траєкторії, що її проходить точка за один оберт, – це довжина кола (мал. 16.4). Відно-

π



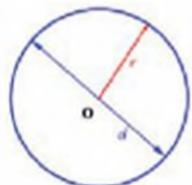
Мал. 16.1.



Мал. 16.2.



Мал. 16.3.



Мал. 16.4.

шення довжини кола l до його діаметра d є сталим числом, тобто не залежить від діаметра. Відношення $\frac{l}{d}$ позначають грецькою літерою π (читається «пі»):

$$\pi = \frac{l}{d} \approx 3,14. \quad (16.2)$$

Виходячи з визначення числа π , можна записати формулу для обчислення довжини кола, описаного точкою:

$$l = \pi d. \quad (16.3)$$

Оскільки $d = 2r$, то довжину кола можна виразити через радіус:

$$l = 2\pi r \quad (16.4)$$

Швидкість матеріальної точки під час руху по колу

Швидкість матеріальної точки при рівномірному русі по колу (її ще називають лінійною швидкістю) можна обчислити, якщо поділити шлях, пройдений точкою за період (довжину кола) на відповідний час руху (період):

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad (16.5)$$

Приклад 16.1

Визначте лінійну швидкість точок екватора при обертанні землі навколо своєї осі. Радіус земної кулі $R = 6\,400$ км, період обертання 24 год.

Дано:
 $R = 6\,400$ км
 $T = 24$ год.
 $v = ?$

Розв'язання. За формулою $v = \frac{2\pi R}{T}$,
 підставивши в неї числові значення,
 отримаємо: $v = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6\,400 \text{ км}}{24 \text{ год.}} = 1675 \frac{\text{км}}{\text{год.}}$

Відповідь. Швидкість руху точок екватора становить $1675 \frac{\text{км}}{\text{год.}}$.

Зазначимо, що це удвічі більше, ніж швидкість авіалайнера.

Частота обертання

Кількість обертів за одиницю часу називають частотою обертання і позначають літерою « n ». Найчастіше частоту обертання вимірюють в обертах за секунду або обертах за хвилину. Якщо за час t тіло

зробило N обертів, то частота дорівнює:

$$n = \frac{N}{t}. \quad (16.6)$$

Порівнявши формули (16.1) і (16.6), бачимо, що частота й період – взаємно обернені величини:

$$T = \frac{1}{n}, \quad n = \frac{1}{T}. \quad (16.7)$$

Приклад 16.2

За 5 с колесо велосипеда радіусом 50 см зробило 20 обертів. Чому дорівнюють його: а) період обертання; б) частота обертання; в) швидкість точок обода?

Дано:

$$t = 5 \text{ с}$$

$$R = 50 \text{ см}$$

$$N = 20$$

$$T = ?$$

$$n = ?$$

$$v = ?$$

Розв'язання. а) Згідно з формулою $T = \frac{t}{N}$,

$$T = 5 \text{ с} : 20 = 0,25 \text{ с}.$$

б) Формула $n = \frac{N}{t}$ дає: $n = 20 : 5 \text{ с} = 4 \frac{1}{\text{с}}$.

Читають: 4 оберти за секунду.

Слово “оберти” у формулах не пишуть – треба здогадуватися самому.

в) Використовуючи разом формули

$$v = \frac{2\pi r}{T} \text{ та } \frac{1}{T} = n, \text{ отримуємо:}$$

$$v = 2\pi R \cdot n = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \text{ м} \cdot 4 \frac{1}{\text{с}} = 12,56 \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 12,6 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Відповідь. а) $T = 0,25 \text{ с}$; б) $n = 4 (1/\text{с})$; в) $v = 12,56 \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 12,6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Цікаво знати. Вал автомобільного двигуна може обертатися з частотою 500–5000 обертів за хвилину, залежно від того, як сильно водій тисне на педаль акселератора (педаль «газу»). В автомобілі є прилад, що вимірює частоту – тахометр.

Вал турбіни реактивного двигуна робить 30 000 обертів за хвилину, центрифуга пральної машини – декілька сот обертів за хвилину, а ультрацентрифуга в біологічних лабораторіях – до півмільйона обертів за хвилину.

Коло та еліпс

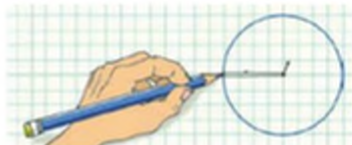
Коло – це плоска замкнена крива, усі точки якої рівновіддалені від деякої заданої точки, що називається *центром* кола. Відстань від будь-

якої точки кола до центру називають радіусом кола r . Відрізок, що сполучає дві точки на колі й проходить через його центр, називається *діаметром* d . Коло можна намалювати циркулем.



Дослід 16.1

Інший спосіб намалювати коло полягає в тому, що ви, увігнувши у плоску поверхню шпильку, накидаєте на неї петлю (мал. 16.5) і, натягуючи її загостреним кінчиком олівця, проводите ним по поверхні, отримуючи коло. Центр кола можна назвати його фокусом, а коло можна назвати однофокусною фігурою (мал. 16.5).



Мал. 16.5.

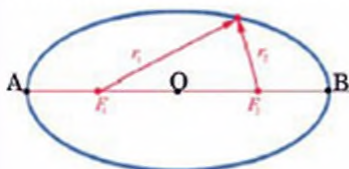
Коло можна розглядати як однофокусну криву



З історії науки.

Чи можна у шкільному віці зробити відкриття?

Мова йтиме про англійського фізика Джеймса Кларка Максвелла, який 150 років тому відкрив радіохвилі.



Мал. 16.6.

Еліпс

Милуючись якось в музеї формою овальних ваз, що збереглися від древніх етрусків, чотирнадцятилітній Максвелл замислився над тим, чи не можна намалювати еліпс так само просто, як і коло. І ось що він придумав. Якщо, як у досліді 16.1, петлю накинути на дві голки, увігнуті в папір на деякій відстані одна від одної, а довшину нитки зробити трохи більшою, ніж подвоєна відстань між голками, і, натягуючи кінцем олівця нитку, провести замкнену криву, то отримаємо двофокусну фігуру – еліпс (мал. 16.6). Точки, де знаходяться голки (F_1 та F_2), є фокусами еліпса. Сума відстаней $r_1 + r_2$ від довільної точки еліпса до фокусів однакова для всіх точок даного еліпса.

Еліпс має дві взаємно перпендикулярні осі – малу і велику. Точка O – центр еліпса – лежить на перетині його осей. Велика вісь еліпса проходить через обидва фокуси, а відрізок OB (або OA) називають *великою піввіссю* еліпса. Орбіти планет, супутників планет та більшості штучних супутників Землі – еліпси.

Підведемо підсумки

- Час, за який тіло здійснює один оберт, називають періодом обертання: $T = \frac{t}{N}$.

- Кількість обертів за одиницю часу називають частотою обертання: $n = \frac{N}{t}$.
- Частота й період – взаємно обернені величини: $T = \frac{1}{n}$, $n = \frac{1}{T}$.
- Швидкість матеріальної точки при рівномірному русі по колу обчислюється за формулою: $v = \frac{2\pi r}{T}$.



Тема для дослідження

- 16.1. Як на досліді визначити частоту обертання дзиґи (мал. 16.7)?
- 16.2*. Чому дзиґа не падає, коли крутиться?



Вправа 16

1. Що називають: а) періодом обертання, б) частотою обертання, в) рівномірним обертанням?
2. Від чого залежить швидкість обертання матеріальної точки?
3. Як називають прилад, що вимірює частоту обертання?
4. Назвіть властивості кола.
5. Наведіть два способи побудови кола.
6. Чому дорівнює відношення довжини кола до його радіуса?
7. Як можна обчислити частоту обертання, знаючи період?
8. Знайдіть довжину екватора Землі, якщо її радіус становить 6400 км.
9. Довжина кола дорівнює 62,8 см. Який радіус кола?
10. Вал двигуна робить 2400 обертів за хвилину. а) Яка частота (в обертах за хвилину) обертання вала? б) Яка швидкість точки (в м/с), віддаленої від осі обертання на 20 см?
11. Штучний супутник Землі рухається по коловій орбіті на відстані 600 км від поверхні планети зі швидкістю 7,9 км/с. Який період (у хв) обертання супутника?
12. Мотоцикліст рухається по колу радіусом 50 м зі швидкістю 90 км/год. За який час він проходить один круг?
13. Хлопчик обертає каштан на нитці довжиною 50 см, роблячи 2 оберти за секунду. а) Який період обертання каштана? б) Яку швидкість має каштан?
14. Чому дорівнює період обертання годинної стрілки годинника?
15. За якої умови еліпс перетворюється на коло?
16. Паралелі на глобусі є колами (мал. 16.8). Де знаходяться центри цих кіл і в яких межах змінюється їх радіус?
17. Паралелі й меридіани є колами. Чим вони різняться між собою?



Мал. 16.7. Чому дзиґа не падає, коли крутиться?



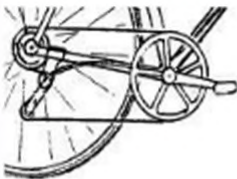
Мал. 16.8.



Мал. 16.9.



Мал. 16.10.



Мал. 16.11.

18. Маленьке зубчате коліщатко обертається за годинниковою стрілкою з частотою 10 обертів за секунду (мал. 16.9). а) У який бік і з якою частотою обертається велике коліщатко? б) Який період обертання коліщаток?

19. Крайнє ліве коліщатко (мал. 16.10) обертається за годинниковою стрілкою. а) У який бік обертається крайнє праве коліщатко? б) Порівняйте частоту обертання крайніх коліщаток.

20*. Допустимо, що Земля є ідеальною кулею, радіус якої 6400 км. Схопимо екватор нерозтяжною ниткою

так, щоб вона прилягала до поверхні в усіх точках. Відтак збільшимо довжину нитки на 1 м. Мк ниткою й екватором утвориться проміжок. Припустимо, що він скрізь буде однаковий. а) Чи зможе в нього проскочити миша? б) Яким буде результат, якщо ми повторимо такий самий дослід із м'ячем?

21*. Ведуча зубчата передача велосипеда (мал. 16.11), яка зв'язана з педалями, утричі більша за зубчатку, зв'язану з колесом. Радіус колеса 40 см, а спортсмен робить один оберт педалями за одну секунду. а) Яка частота обертання ведучого колеса? б) З якою швидкістю (в км/год) рухається велосипедист?

22*. Накресліть еліпс із півосями 6 і 4 см.

§ 17. РУХ ПЛАНЕТ І МІСЯЦЯ

Сонячна система складається з Сонця і восьми планет (мал. 17.1), які обертаються навколо нього. Планети підрозділяються на дві групи: планети земної групи і планети-гіганти. **Планети земної групи:** Меркурій, Венера, Земля, Марс мають тверду оболонку і складаються переважно з важких елементів. **Зовнішні планети:** Юпітер, Сатурн, Уран,



Мал. 17.1.

*Сонце – Меркурій – Венера – Земля – Марс. Пояс астероїдів.
Юпітер – Сатурн – Уран – Нептун – газові гіганти*

Нептун складаються з газів, переважно водню і гелію – їх ще називають газовими гігантами за величезні розміри. Внутрішні і зовнішні планети розділені поясом астероїдів.

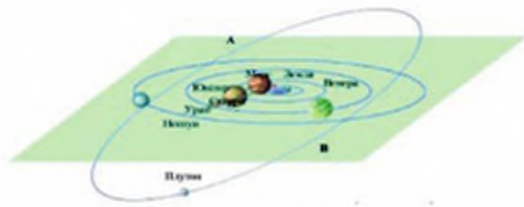
Склад Сонячної системи

До 2006 року до складу Сонячної системи входила ще одна планета – Плутон. Але через те, що космічні апарати відкрили за Плутоном іще декілька небесних тіл приблизно таких самих розмірів, було вирішено обмежити число планет до восьми. Окрім того, Плутон має витягнуту орбіту, яка сильно нахилена до площини обертання інших планет.

Впродовж тисячоліть астрономи спостерігали за досить складним рухом Сонця, Місяця та планет на фоні зоряного неба і вважали, що всі вони рухаються навколо Землі. У 1543 році польський астроном Микола Копернік запропонував вибрати за тіло відліку Сонце, з огляду на значно простіший спосіб описання руху планет. Згідно геліоцентричної системи Коперніка Земля та інші планети обертаються навколо Сонця. Траєкторія кожної з планет Сонячної системи (табл. 14.1) є еліпсом, а Сонце знаходиться в одному з фокусів цього еліпса.

Рух планет навколо Сонця

Орбіти більшості планет лежать майже в одній площині, яка називається **площиною екліптики** (мал. 17.2), й обертаються в один і той самий бік. Сонце лежить у цій самій площині й обертається навколо власної вісі в тому ж напрямку, що й планети. Площина орбіти Плутона нахилена до площини екліптики під кутом 17° .



Мал. 17.2.

Орбіти планет. Площина екліптики виділена. Орбіта Плутона явно виділяється нахилом і витягнутістю.

Проте орбіти планет, окрім Плутона, настільки мало відрізняються від кіл, що тільки надзвичайно кропіткі розрахунки Кеплера, які він завершив у 1609 році, дозволили встановити цю відмінність. Історія цього відкриття така.



З історії науки. Данський астроном Тіхо Браге досяг небаченої для свого часу точності вимірювань положення планет на небі. Він заповів результати власних астрономічних спостережень своєму співробітникові, німецькому астроному Йоганну Кеплеру. Аналізуючи дані про рух Марса, Кеплер встановив, що планета рухається по орбіті

нерівномірно – якби планета рухалась по колу, то такого не могло б бути. Перший закон Кеплера твердить: планети рухаються по еліпсах, в одному із фокусів яких знаходиться Сонце. Йому знадобилося п'ять років, щоб обчисленнями довести цей факт.

У наведеній нижче таблиці зазначено основні дані про Сонячну систему.

Таблиця 17.1.

Основні дані про планети Сонячної системи і Плутон

	Радіус небесних тіл, км	Тривалість доби відносно зорки	Велика піввісь орбіти, км	Період обертання навколо Сонця
Меркурій	2570	88 діб	57,9 млн.	88 діб
Венера	6310	243 доби	108 млн.	224,7 діб
Земля	6380	23 год. 56 хв. 4с	149 млн.	365, 26 діб
Марс	3430	24 год. 37 хв. 23 с	228 млн.	687 діб
Юпітер	71800	9 год. 50 хв. 30с	778 млн.	11,9 років
Сатурн	60300	10 год. 14 хв.	1,43 млрд.	29,5 років
Уран	26700	11 год.	2,87 млрд.	84 роки
Нептун	24800	16 год.	4,50 млрд.	164,8 років
Плутон	2743	6 діб 9 год.	5,90 млрд.	247,7 років

Період обертання Землі навколо власної осі дорівнює 24 годинам і називається **сонячною добою**, або просто добою. Періоди обертання інших планет і Місяця вказані в таблиці у земних добах.

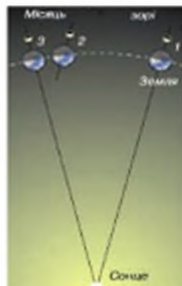
Рік – це період обертання планети навколо Сонця. Земний рік дорівнює 365,26 земних діб. Періоди обертання решти планет вказані у земних добах або в земних роках.

За мільярди років обертання Місяця навколо Землі він сповільнив обертання навколо своєї осі настільки, що зараз повернутий до нас завжди однією своєю стороною і тому робить один оберт навколо власної осі за один місяць.

Земля також сповільнює своє добове обертання (головно через спричинені Місяцем припливи в океані та рідкому ядрі Землі), але відбувається це дуже повільно, проте 3,5 млрд. років тому земна доба становила лише 6 годин.

Місяць – природний супутник Землі

Окрім Меркурія і Венери, усі інші планети Сонячної системи мають природні супутники, у Землі це – Місяць. Спостерігаючи за рухом Місяця, можна помітити, що за добу він зміщується на фоні зоряного неба **на схід** приблизно на 13° . Засікаючи мінімальний час, через який Місяць знову займе своє попереднє положення відносно зір (позиція 2 на



Мал. 17.3.
Місяць - Земля - Сонце.

мал. 17.3), можна визначити зоряний період обертання Місяця навколо Землі: 27,3 доби (27 днів 7 год. і 43 хв.). Потрібно розуміти, що промені від зір ідуть практично паралельно, через величезну відстань до них.

Якщо визначити проміжок часу між двома послідовними однаковими фазами Місяця (наприклад повним і наступним повним Місяцем позиція 3 на мал. 17.3), то отримаємо його сонячний період обертання, який триває приблизно 29,5 доби (29 днів 12 год. 44 хв.).



Тема для дослідження

17.1. Поясніть за допомогою мал. 11.3, чому період обертання Місяця навколо Землі дорівнює 27,3 днів відносно нерухомих зір, і 29,5 днів відносно Сонця.

17.2. Поясніть малюнком, чому період обертання Землі навколо осі відносно нерухомих зір становить 23 год. 56 хв., і 24 год. відносно Сонця.

17.2. Напишіть реферат про історію вилучення Плутона з сімейства планет Сонячної системи.

Сонячні і Місячні затемнення

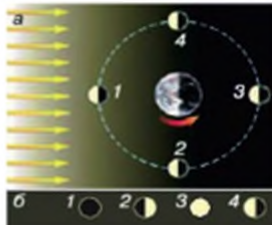
Траєкторію Місяця навколо Землі можна наближено вважати колом (мал. 17.4). Промені світла від Сонця ідуть практично паралельно, через величезну відстань до нього.

Сонячні затемнення можливі, коли Місяць опиняється між Сонцем і Землею на одній лінії. Кутові розміри Місяця і Сонця практично однакові (тобто здаються однаковими за розмірами). Під час повного Сонячного затемнення Місяць закриває Сонце.

Місячне затемнення можливе, коли Земля опиняється між Сонцем і Місяцем на одній лінії. Здавалося б, що сонячні і місячні затемнення повинні відбуватися щомісяця, але це не так. Площина орбіти Місяця нахилена до площини екліптики під кутом 5° , тому у більшості випадків, коли Місяць опиняється між Сонцем і Землею, сонячне затемнення не відбувається, оскільки Місяць знаходиться вище чи нижче площини екліптики. Проте в певні моменти часу (спробуйте пояснити це малюнком) Земля, Місяць і Сонце все ж таки можуть опинитися на одній прямій, що лежить одночасно і в площині екліптики, і в площині орбіти Місяця. В такому випадку сонячне чи місячне затемнення можна спостерігати.

Фази Місяця

Цікаво слідкувати за фазами Місяця. На мал. 17.4 а зображено положення Місяця відносно Землі у різні моменти його руху по навколосезній орбіті. Малюнок



Мал. 17.4.

Фази Місяця. 3 – повний місяць, 2 – перша чверть, 4 – остання чверть.

1 – народження нового місяця.

зроблено з позиції спостерігача, який знаходиться в космосі вище площини орбіти Місяця прямо над північним полюсом Землі. Земля обертається навколо своєї вісі проти годинникової стрілки (з заходу на схід). В той самий бік обертається по своїй орбіті і Місяць. Мал. 17.4 б показує Місяць таким, як його бачить земний спостерігач. Повний місяць спостерігається в положенні 3, коли земний спостерігач бачить його повністю освітленим. В цій же позиції можливо спостерігати місячне затемнення (якщо Місяць лежить у площині екліптики). В положенні 2 земний спостерігач бачить освітленою праву половину Місяця – це перша чверть. В положенні 4 земний спостерігач бачить освітленою ліву половину Місяця – це остання чверть. В положенні 1 диск Місяця не видно, але вже наступного дня справа на диску з'явиться вузький світлий серп – молодик. Якщо в положенні 1 Місяць знаходиться ще й в площині екліптики, то з деяких точок Землі можна спостерігати сонячне затемнення.

Таблиця 17.2.

Основні дані про Місяць

Радіус Місяця	Період обертання навколо Землі		Радіус орбіти Місяця
	Зоряний період	Сонячний період	
1740 км	27,3 діб	29,5 діб	380 000 км

Підведемо підсумки

- Вісім планет Сонячної системи рухаються по еліпсах, які мало відрізняються від кіл.
- Усі планети рухаються майже в одній площині (площині екліптики).
- Сонячні і місячні затемнення відбуваються, коли Сонце, Місяць і Земля знаходяться на одній прямій і в одній площині.



Теорчі завдання

17.1-3. За допомогою яких спостережень можна помітити: а) добуве обертання Землі? б) Рух Місяця навколо Землі? в) Рух Землі навколо Сонця?

17.4. Чому всі планети обертаються в один і той самий бік, а їх орбіти лежать майже в одній площині?



Вправа 17

1. Скільки планет входить зараз до складу Сонячної системи?
2. Назвіть дві причини, чому Плутона вилучили зі складу планет Сонячної системи.
3. Чому ми бачимо тільки одну сторону Місяця?
4. Чому сповільнюється добуве обертання Землі?
5. Чому зоряний і сонячний періоди обертання Місяця навколо Землі відрізняються між собою?
6. Наведіть назви чотирьох основних фаз Місяця.
7. Куди зміщується на фоні нічного зоряного неба протягом ночі Місяць?

8. Розкрутіть на столі сире яйце і зварене. Чим відрізняються їхні обертання? Спробуйте пояснити це явище.
9. Який період обертання секундної і хвилинної стрілок годинника?
10. З якою швидкістю рухається Місяць навколо Землі, якщо його зоряний період обертання становить 27,3 земних днів, а середній радіус орбіти 380 000 км?
11. а) Вкажіть на мал. 17.4 у якій точці орбіти Місяця і за яких умов може відбутися сонячне затемнення? б) У якій точці орбіти Місяця може відбутися місячне затемнення?
12. За скільки хвилин світло від Сонця доходить до Землі?
13. Знайдіть (наближено) відношення радіусу Землі до радіусу Місяця, виразивши його цілим числом.
14. Знайдіть (наближено) відношення радіусу орбіти Місяця до радіусу Землі, виразивши його цілим числом.
- 15*. Які закономірності й особливості в періодах обертання планет навколо Сонця ви помітили, вивчаючи таблицю 17.17?
- 16*. О 12-й годині хвилина і годинна стрілки співпадають. Через який мінімальний час вони знову співпадуть?
- 17*. Штучний супутник обертається навколо Землі в напрямку із заходу на схід. Що більше: час обертання супутника відносно Землі чи відносно нерухомих зірок?

§ 18. КОЛИВАЛЬНИЙ РУХ. МАЯТНИКИ

Коливання часто можна спостерігати в природі і техніці. Коливаються легені при диханні, коливається маятник механічного годинника і поршні автомобільного двигуна.

Нитяний маятник

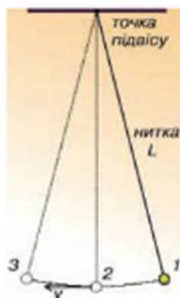
Найзручніше спостерігати і вивчати коливання при допомозі пристрою, який називають нитяним маятником. Цей маятник складається з нитки, до якої прикріплено кульку (мал. 18.1), де L – довжина нитки маятника, 2 – положення рівноваги – швидкість кульки тут найбільша.



Дослід 17.1

Проведемо простий дослід, прикріпивши до одного кінця тонкої нитки довжиною один метр пластилінову кульку діаметром приблизно 1 см, а другий кінець прив'яжемо, наприклад, до люстри.

У стані рівноваги нитка вертикальна (положення 2 на мал. 18.1), тобто вона співпадає з прямовисною лінією. Відхилимо кульку вправо (положення 1 на мал. 18.1) на деяку невелику, порівняно з довжиною нитки, відстань (наприклад, 10 см)



Мал. 18.1.
Нитяний маятник

і відпустимо. Кулька почне рухатися спочатку повільно, а потім все швидше в напрямку до положення рівноваги, проскочить це положення і почне відхилитися вліво, зменшуючи свою швидкість поки не зупиниться в точці 3. Потім кулька почне рухатися вправо, знову пройде положення рівноваги і зупиниться у крайній правій точці. Рухи такого типу, які періодично повторюються, називають коливаннями, а пристрій, який ми використали – маятником.

Рух кульки від крайнього правого положення до крайнього лівого і назад називають одним повним коливанням (1-2-3-2-1 на мал. 18.1). Далі все повториться спочатку. Якщо спостерігати за кулькою достатньо довго, то ми помітимо, що віддалі, на які вона відхиляється вліво і вправо, поступово зменшуються. Причиною цього є сили тертя. Врештешт коливання припиняться.

Амплітуда, період і частота коливань

Траєкторія руху кульки – дуга кола, центр якого знаходиться у точці підвісу, а радіус дорівнює відстані від точки підвісу до центру кульки. Найбільше відхилення від положення рівноваги називають амплітудою коливань. Позначимо амплітуду літерою A , у нашому прикладі це довжина дуги між точками 1 та 2.

Час, упродовж якого кулька здійснює одне повне коливання, називають періодом коливань і позначають літерою T . В СІ період вимірюють в секундах. Якщо за час « t » кулька здійснила « N » повних коливань, то період визначатиметься так:

$$T = \frac{t}{N}. \quad (18.1)$$

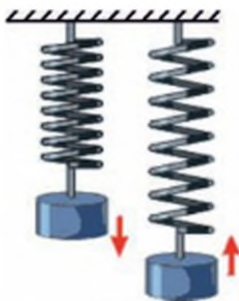
Кількість повних коливань, що їх здійснює кулька за одиницю часу, називають частотою і позначають грецькою літерою ν ("ню"). Згідно з цим означенням:

$$\nu = \frac{N}{t}. \quad (18.2)$$

Частоту вимірюють в герцах (Гц). Один герц – це частота коливань, при якій за одну секунду тіло здійснює одне повне коливання, тобто $1 \text{ Гц} = \text{одне коливання за секунду}$, (пишуть $1/\text{с}$). Одиницю вимірювання частоти коливань названа на честь німецького фізика Генріха Герца, який у 1887 році на досліді довів існування радіохвиль.

Пружинний маятник

Інша проста коливальна система – це пружинний маятник. Він складається з пружини, до якої прикріплене тіло. Такий маятник коливається з певною частотою і амплітудою (мал. 18.2).



Мал. 18.2.
Пружинний маятник.

Стробограма

Коливання бувають не тільки механічні, як у нитяного маятника, а й електричні. В електричній розетці, наприклад, «коливається» напруга, тобто періодично змінюється з частотою 50 Гц.

На мал. 18.3 ви можете бачити фотографію чудернацьких траєкторій комах в світлі настільної лампи. Якщо уважно придивитися, то видно, що траєкторії не суцільні. Так сталося тому, що лампа, яка живиться від джерела змінної напруги, миготить з частотою, що дорівнює подвійній частоті напруги, тобто 100 Гц, і яка не помітна для нашого ока, але яку «помічає» фотокамера.

Сто разів на секунду лампа запалюється і стільки ж разів гасне. Поки світла мало, комаху на знімку не видно. Час експозиції цифрової фотокамери становив декілька секунд, тому траєкторія і вийшла «пунктирною». Такого виду фотографії називають стробоскопічними.

Є спеціальні лампи-стробоскопи, частоту мигань яких можна змінювати, ви, напевно, бачили їх на дискотеках. Стробограми використовують спортивні тренери (мал. 18.4), а за допомогою стробоскопа налаштовують частоту коливань поршнів автомобільного двигуна.



Мал. 18.3.

Стробограма траєкторій комах



Мал. 18.4.

Вправа на турніку



З історії науки. У 1584 році двадцятилітній італієць Галілео Галілей зробив надзвичайно цікаве спостереження. Підвішуючи до нитки то шматок свинцю, то шматок корку, він довів, що маятники однакової довжини коливаються із однаковими періодами незалежно від маси вантажів. Він також помітив, що період коливань маятника майже не залежить від амплітуди (принаймні, поки амплітуда мала порівняно з довжиною нитки).

Оскільки період коливань маятника не залежить ні від амплітуди малих коливань, ні від маси кульки, то його, очевидно, можна використати для вимірювання часу (мал. 18.5). У старі часи координати кораблів в морях і океанах визначали за сонцем і зорями. Причому для визначення довготи потрібен якнайточніший годинник. Неточно виміряний час і, відповідно, помилки у визначенні координат призводили до помилок у визначенні віддалей, а це, у свою чергу, могло стати причиною аварій.

Втрати торгового флоту були настільки значними, що в багатьох морських державах обіцяли великі грошові премії за створення точного мор-

ського хронометра. У Голландії, наприклад, було обіцяно премію 20 000 золотих гульденів, а у Великобританії – 20 000 фунтів стерлінгів.

Двоє вчених, незалежно один від одного, здогадалися, що маятник, завдяки постійному періодові, може стати основною деталлю точного годинника. Це були вже згадуваний італієць Галілео Галілей і голландець Крістіан Гюйгенс. Перший маятниковий годинник за кресленнями Гюйгенса був виготовлений у 1656 році.

Винахідником морського хронометра став англієць Джордж Гаррісон, який отримав частину обіцяної урядом премії в 12 000 фунтів стерлінгів.



Мал. 18.5.

Маятниковий годинник

Підведемо підсумки

- Найбільше відхилення від положення рівноваги називають амплітудою коливань.
- Час, упродовж якого здійснюється одне повне коливання, називають періодом коливань.
- Кількість повних коливань за одиницю часу називають частотою.
- Період коливань маятника не залежить ні від амплітуди малих коливань, ні від маси кульки.



Теми для дослідження

18.1. Виясніть, чому при частоті зміни напруги в розетці 50 Гц лампа розжарення миготить з частотою 100 Гц.

18.2. Виготуйте маятник, узявши тонку гумку завдовжки 1 м і прикріпивши до неї пластинкову кульку діаметром 1 см. а) Спостерігаючи за коливаннями маятника вліво-вправо при різних амплітудах, встановіть, чим відрізняються ці коливання від коливань маятника на нитці. б) Дослідіть невеликі коливання вантажу на гумці вгору-вниз (без розгойдування вліво-вправо). Від чого залежить період цих коливань?



Творче завдання

18.1. Виготуйте нитяний маятник з періодом коливань 1 с і визначте з його допомогою площу вашого кухонного стола.



Вправа 18

1. Наведіть приклади коливань в природі і техніці.
2. З чого складається нитяний маятник?
3. Що називають амплітудою коливань?
4. Дайте визначення одиниці частоти коливань 1 Гц.

5. Дайте визначення періоду коливань.
6. За якої умови період коливань маятника не залежить від амплітуди?
7. Чому винагорода за створення точного морського хронометра була такою великою?
8. Який зміст має частота 50 Гц?
9. З якою частотою коливається гойдалка, якщо за 2 хв. вона робить 40 коливань?
10. Маятник зробив 20 коливань за 1 хв. а) Який період коливань маятника (в секундах)?
- б) Яка частота коливань цього маятника (в Гц)?
11. Як можна перевірити, що період коливань маятника не залежить від маси кульки?
12. Чому маятник можна використати для побудови годинника?
13. Використовуючи малюнок 18.3 вкажіть, в яких положеннях гімнаста його швидкість а) найбільша, б) найменша.
14. Чому траєкторії комах на мал. 18.2. мають вигляд пунктирних ліній?
15. З якою частотою мигає лампа розжарення?
- 16*. Висотні будівлі та підвісні мости розгойдуються, подібно до маятника. Від чого може залежати період їх коливань?
- 17*. Деяка точка струни коливається з частотою 440 Гц і амплітудою 2 мм. Яку відстань (у м) пройде ця точка за 5 секунд?

ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ II

- Механічним рухом називають зміну положення тіла відносно інших тіл з часом.
- Швидкість руху, шлях або час можна обчислити, користуючись формулою $v = \frac{s}{t}$.
- Переміщення, швидкість і траєкторія тіла залежать від того, відносно яких тіл відліку визначається рух.
- Швидкість тіла відносно нерухомої системи відліку дорівнює сумі відносної і переносної швидкостей тіла: $\vec{v}_{\text{визл}} = \vec{v}_{\text{відн}} + \vec{v}_{\text{переносна}}$.
- Шлях чисельно дорівнює площі під графіком швидкості $v(t)$.
- Чим крутіший графік $s(t)$, тим більша швидкість.
- Середньою швидкістю $v_{\text{ср}}$ за деякий час t називають відношення усього пройденого шляху до усього затраченого часу t (включно з зупинками) $v_{\text{ср}} = \frac{s}{t}$.
- Час, за який тіло або точка здійснюють один оберт, називають періодом обертання: $T = t/N$. Кількість обертів за одиницю часу називають частотою обертання: $n = N/t$. Частота й період – взаємно обернені величини: $T = 1/n$, $n = 1/T$. Швидкість матеріальної точки при рівномірному русі по колу обчислюється за формулою: $v = 2\pi r/T$.
- Вісім планет Сонячної системи рухаються по еліпсах, які мало відрізняються від кіл. Усі планети рухаються майже в одній площині (площині екліптики). Сонячні і місячні затемнення відбуваються, коли Сонце, Місяць і Земля знаходяться на одній прямій і в одній площині.
- Час, упродовж якого здійснюється одне повне коливання, називають періодом коливань. Найбільше відхилення від положення рівноваги називають амплітудою коливань. Кількість повних коливань за одиницю часу називають частотою $\nu = \frac{N}{t}$. Період (і частота) коливань маятника на нитці не залежить ні від амплітуди малих коливань, ані від маси кульки.
- Зі збільшенням довжини нитяного маятника період його коливань збільшується. Наприклад, при збільшенні довжини у 4 рази, період збільшується у 2 рази, у повній відповідності з формулою Гюйгенса: $T = 2\pi\sqrt{l/g}$, де $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ II

Виберіть правильний варіант відповіді:

1. Яка з вказаних швидкостей: 72 км/год, чи 25 м/с більша:

A: 72 км/год.; B: 25 м/с; B: вони однакові; Г: не можна порівнювати.

2. Яка траєкторія руху Місяця навколо Землі:

A: пряма; B: коло; B: еліпс; Г: спіраль.

3. Чи може шлях точки бути 1. Більшим. 2. Меншим. 3. Рівним за переміщення:

A: 1; B: 2 і 3; B: 3; Г: 1 і 3.

4. За який час потяг довжиною 200 м переїде міст довжиною 100 м. Швидкість потяга 54 км/год.:

A: 1 хв.; B: 30 с; B: 20 с; Г: 0,5 хв.

5. М'яч впав з висоти 2 м і підстрибнув на висоту 1,5 м. Визначте шлях і переміщення м'яча:

A: 3,5 м і 1,5 м; B: 0,5 м і 2,5 м; B: 2,5 м і 0,5 м вгору; Г: 2,5 м і 0,5 м вниз.

6. Тіло перші 30 м свого шляху пройшло за 2 с, а наступні 30 м – за 0,05 хв. Яка середня швидкість тіла:

A: 15 м/с; B: 12 м/с; B: 600 м/хв.; Г: 0,5 км/год.

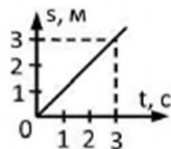
7. За даним графіком $v(t)$ обчисліть приблизне значення середньої швидкості тіла за 3 і 9 с:

A: 6 м/с і 2 м/с; B: 2 м/с і 1 м/с; B: 3 м/с і 3 м/с; Г: 6 м/с і 3 м/с.



8. За даним графіком $s(t)$ визначте: швидкість тіла і переміщення за 2 с.

A: 3 м/с і 2 м; B: 2 м/с і 3 м; B: 1 м/с і 1,5 м; Г: 1 м/с і 2 м.



9. Скільки обертів зробить колесо велосипеда, діаметр якого 50 см, якщо він проїхав відстань 62,8 м:

A: 20; B: 30; B: 40; Г: 50.

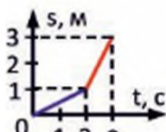
Розв'яжіть задачі

1. Яку відстань подолає велосипедист, який рухається зі швидкістю 30 км/год, за 30 хв.?

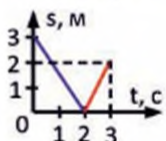
2. Два потяги рухаються паралельними коліями в одну сторону. Їх швидкості становлять 72 км/год. і 54 км/год, відповідно. Пасажир, який перебуває в першому потязі, помітив, що другий потяг пройшов повз нього за 20 с. Яка довжина другого потяга?

3. Швидкість велосипедиста 18 км/год., а швидкість попутного вітру 3 м/с. Знайдіть швидкість вітру відносно велосипедиста.

4. Дано графік залежності шляху точки від часу. а) Який шлях пройшла точка за 2 с? б) Який шлях пройшла точка за 3 с? в) Яка величина швидкості точки за перші дві секунди? г) Яка величина швидкості точки за останню секунду?



5. Дано графік залежності переміщення точки від часу. а) Який шлях пройшла точка за 3 с і який бік вона рухалася (вперед чи назад)? б) Яка величина переміщення точки за 3 с? в) Яка величина швидкості точки за перші дві секунди? г) Яка величина швидкості точки за останню секунду?



6. Яка середня швидкість потяга, якщо за п'ять з половиною годин він подолав відстань 300 км? Загальний час зупинок становить 30 хв.

7. У скільки разів період обертання годинної стрілки більший за період обертання хвилинної стрілки годинника?

8. Визначте шлях, який проходить кінець хвилинної стрілки, довжина якої 1,5 см, за 2 год.

9. Швидкість потяга 72 км/год. Скільки обертів за 1 с роблять колеса вагона, діаметр яких 80 см?

10. На який кут навколо своєї осі повертається Земля за 1 годину?

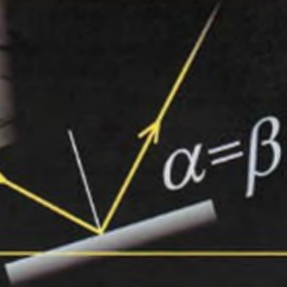
11. Розрахуйте швидкість точок екватора (в км/год.) в їх добовому обертанні разом із Землею.

12. Відомо, що Місяць, обертаючись навколо Землі, постійно повернутий до неї однією своєю стороною. Який період обертання Місяця навколо його власної осі?

Розділ III
Взаємодія тіл.
Сила



...всвечені і світло... з три...
...влада р... про рух... осталих...
...і спити. Терція частина книги...
...—на... третья частина...
...перша книга... Месту...
...з допомогою якої наступ... до...
...дате... тичного... ж... жодної...
...присвячений... від... в... жодності...
...рідним характером... з... і...
...і... і... результати доведених тверде...
...Меня те що рішуче...
...и...
...и...



§ 19. МАСА ТІЛА. ГУСТИНА РЕЧОВИНИ

Визначення маси тіла.

Масу тіла позначають літерою m , і визначають за допомогою важільних терезів. Терези (мал. 19.2) складаються з коромисла, яке може вільно обертатися навколо осі, що знаходиться посередині і закріплено на вертикально розташованій опорі. До кінців коромисла підвішені дві шальки терезів, які перед зважуванням мають займати горизонтальне положення, тобто перебувати в рівновазі.

На одну шальку терезів кладуть тіло, масу якого хочуть визначити, а на другу – важки (мал. 19.3), маса яких відома. Важки підбирають так, щоб відновилася рівновага терезів. Сумарна маса всіх важків дорівнює шуканій масі тіла.

За еталон маси спочатку взяли масу 1 літра (1 л) дистильованої води при температурі 4°C . Це вода, очищена від солей і порошок, її використовують в аптеках при виготовленні ліків, доливають в автомобільний акумулятор. Зараз еталоном маси є циліндр (висота 39 мм, діаметр 39 мм) із платино-іридієвого сплаву (90% платини, 10% іридію). Це – **1 кг** (кілограм) – **основна одиниця маси в СІ**. Важки, які використовуються при визначенні маси, – копії еталона.

Використовують також як більші, так і менші за 1 кг одиниці маси (табл. 19.1).

Таблиця 19.1

Співвідношення між одиницями маси

$1 \text{ т (тонна)} = 1\,000 \text{ кг}$	$1 \text{ кг} = 0,001 \text{ т}$
$1 \text{ кг} = 1\,000 \text{ г (грам)}$	$1 \text{ г} = 0,001 \text{ кг}$
$1 \text{ г} = 1\,000 \text{ мг (міліграм)}$	$1 \text{ мг} = 0,001 \text{ г}$
$1 \text{ мг} = 1\,000 \text{ мкг (мікрограм)}$	$1 \text{ мкг} = 0,000001 \text{ г}$



Мал. 19.1.

Терези застосовували ще в Стародавньому Єгипті



Мал. 19.2.

Масу тіла визначають за допомогою важільних терезів



Мал. 19.3.

Набір важків для зважування

Таблиця 19.2

Маса деяких тіл

Тіло	Маса
Крильце музи	50 мг
М'яч для настільного тенісу	2,5 г
Футбольний м'яч	400 г
Велосипед	12-14 кг
Людина (в середньому)	70 кг
Легковий автомобіль	1 500 кг
Слон	4 т
Трактор	10 т
Пасажирський	50 т
Кит	100 т

Мал. 19.4.
Еталон 1 кг***Атомна одиниця маси**

В атомній фізиці використовують атомну одиницю маси (а. о. м.). 1 а. о. м. дорівнює $\frac{1}{12}$ частині маси атома Карбону. Хімічний знак Карбону – С (Carbon).

Маси протона і нейтрона приблизно дорівнюють 1 а. о. м. Маса атома Гідрогену – 1 а. о. м., Карбону – 12 а. о. м., Урану – 238 а. о. м. Маса електрона у 1836 разів менша за масу протона.

Густина речовини

Густина речовини – це маса одиниці об'єму цієї речовини. Позначимо об'єм літерою V , а масу деякої кількості однорідної речовини – m , а їх відношення назовемо густиною й позначимо грецькою літерою ρ (читається «ро»). Тоді формула густини буде такою:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (19.1)$$

Найчастіше використовують такі одиниці густини: кг/м^3 та г/см^3 .

Приклад 20.1

Маса одного літра води приблизно дорівнює 1 кг, це означає, що густина води дорівнює $1 \frac{\text{кг}}{\text{л}}$. Оскільки літр має 1000 см^3 , а $1 \text{ кг} = 1000 \text{ г}$, то $1 \frac{\text{кг}}{\text{л}} = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Знаючи густину речовини, з якої складається тіло і об'єм цього тіла, можна знайти його масу:

$$m = \rho \cdot V. \quad (19.2)$$

Густина тіла

Тіло може мати порожнини, тобто не бути суцільним, або складатися з речовин різної густини. У цьому випадку можна визначити **середню густину тіла**, поділивши всю масу тіла на весь об'єм. Так густина корабля, корпус якого зроблено зі сталі, менша за густину води (інакше він би не плавав), тому що всередині багато пустот.

Щоб отримати густини речовин у $\text{кг}/\text{м}^3$, треба дані, наведені в таблиці 20.3, помножити на 1000. Наприклад, густина льоду:

Таблиця 20.3

Густини деяких твердих тіл, рідин і газів ($\text{кг}/\text{дм}^3$ або $\text{ш}/\text{см}^3$)**Тверді тіла**

Пухкий сніг	0,1	Корок	0,24	Пінобетон	0,5-0,9
Дерево	0,8	Лід	0,9	Гума	0,92
Папір	10,7-1,2	Плексиглас	1,2	Пісок	1,7
Алюміній	2,7	Алмаз	3,5	Скло	2,4-2,6
Мідь	8,9	Сталь	7,85	Срібло	10,49
Свинець	11,34	Уран	19,0	Золото	19,29
Платина	21,45	Іридій	22,42	Осмій	22,6

Тіло людини $\approx 1 \text{ г}/\text{см}^3$

Рідини

Вода (4°)	0,999973	Вода (10°)	0,99970	Вода (20°)	0,99820
Вода (50°)	0,9981	Вода (100°)	0,95835	Важка вода	1,105
Морська вода	1,03	Спирт	0,83	Бензин	0,78
Газ	0,8	Ртуть	13,546	Нафта	0,8

Гази (0°C, 760 мм рт. ст.)

Водень	0,09	Гелій	0,18	Азот	1,25
Повітря	1,29	Кисень	1,43		

Продукти

Цукор	1,61	Сіль	2,17	Борошно	0,4-0,55
Картон	1,06	Олія	0,91		

Цікаво знати. Тверді тіла й рідини дуже важко стиснути, тому їх густина практично мало змінюється. Густина ж газів значною мірою залежить від тиску і температури. У ХІХ ст. деякі гази вдалося перетворити на рідину за допомогою стиснення. А от водень і гелій ніяк не піддавалися зрідженню, хоча їх стискали до густини, що перевищувала густину води.



Дослід 19.1

Визначте дослідним шляхом густину аркуша паперу формату А4. Порівняйте отриманий результат з даними, зазначеними на оборотці даної пачки паперу.



Дослід 19.2

Визначте масу свого тіла і за нею обчисліть свій об'єм.



Теорчі завдання

19.1. Виготуйте пристрій, густину якого можна змінювати від значення, меншого за густину води, до значення, більшого за густину води. Зовнішній об'єм пристрою при цьому змінюватися не повинен.



Тема для дослідження

19.1. За допомогою атомно-молекулярної теорії спробуйте пояснити, чому густини різних твердих речовин різняться між собою.

19.2. Введіть величину, що показує, який об'єм припадає на одиницю маси, і запишіть формулу для її розрахунку.

19.4. Побудуйте графік залежності густини води від температури, скориставшись даними таблиці 20.3. Знайдіть у довідниках густину води в інтервалі температур від 0 до 4°C і за цими даними побудуйте графік.

Підведемо підсумки

- Маса тіла визначають на важільних терезах і вимірюють в СІ у кг.
- Маса одиниці об'єму речовини називають густиною. Густина визначають за формулою: $\rho = \frac{m}{V}$.



Вправа 19

1. З допомогою якого приладу визначають масу тіл?
2. Яку одиницю маси використовують в СІ?
3. Знайдіть у таблиці 20.3 речовини з найбільшою і найменшою густиною.
4. Як утримуються на воді військові крейсери, виготовлені зі сталі?
5. Порівняйте маси електрона, протона і нейтрона.
6. Порівняйте густини платини та ірідію. Поясніть фізичний зміст густин цих матеріалів.
7. Яку масу має: а) 1 м³; б) 1 см³; в) 1 дм³ і г) 1 мл води?
8. Густина заліза дорівнює 7,87 г/см³. а) Що означає це число? б) Яка густина заліза в кг/м³? в) Чому густина заліза в центрі Землі значно більша ($\approx 10 \text{ г/см}^3$), ніж на поверхні?
9. Чому густина людського тіла мало відрізняється від густини води?
10. Визначте масу золотого злитка об'ємом 3,4 см³.

11. Що має більшу густину: одна зернина чи яменя зерна?
12. Що має більшу густину: атом чи атомне ядро?
13. Яка маса суцільної залізної конструкції об'єм 6 м^3 ?
14. Яку приблизно густину має платино-іридієвий сплав?
15. Свинцева та залізна кулі мають однаковий об'єм. Маса якої кулі більша?
16. Скляний та мідний кубики мають однакову масу. Об'єм якого тіла більший?
17. Мідний і алюмінієвий стержні однакового діаметру мають однакову масу. Який з них довший?
18. Чи змогли б ви підняти корковий куб, довжина сторони якого дорівнює 1 м ?
19. Назвіть дві можливі причини, через які густина сталі більша за густину алюмінію.
20. Один літр деякої рідини має масу 830 г . а) Яка густина рідини? б) Що це за рідина?
21. Маса суцільного алюмінієвого куба $2,7 \text{ кг}$. а) Який об'єм куба? б) Яка площа поверхні куба? в) Якою стане маса куба, якщо усі його розміри зменшити вдвічі?
- 22*. Чому густина речовин в твердому і рідкому стані практично не залежить зовнішнього тиску?
- 23*. Оцініть масу повітря у вашій кімнаті та порівняйте її з вашою власною масою.
- 24*. Сплав золота і срібла має масу $131,4 \text{ г}$ і об'єм 10 см^3 . Яку масу золота він містить? $\rho_{\text{з}} = 19300 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{\text{с}} = 10,5 \text{ г/см}^3$.
- 25*. Як можна знайти товщину тонкої пластинки прямокутної форми, якщо є терези і відомі довжина і ширина цієї пластинки?

§ 20. СИЛА. ІНЕРТНІСТЬ ТІЛА. ЯВИЩЕ ІНЕРЦІЇ

Сила

Ми щодня спостерігаємо дію різних сил. Коли ми несемо валізу, то добре відчуваємо, як вона тягне руку вниз, розтягуючи м'язи. Саме деформація (розтягування) і напруження наших м'язів дає нам відчуття сили.

Валіза діє на руку, бо її притягує вниз Земля, а не падає вона тільки тому, що дія на неї з боку руки направлена вгору і компенсує (зрівноважує) дію сили тяжіння.

Дію на дане тіло інших тіл називають силою. Силу зазвичай позначають літерою F (від англ. *force* – сила), але в деяких випадках використовують індекси та інші літери.

Сила є векторною фізичною величиною і на малюнках її зображують стрілкою, яка вказує напрям дії сили. Нагадаємо, що векторні величини позначають напівжирними літерами, або літерами зі стрілками над ними.

Рівнодійна двох однакових за величиною і протилежних за напрямом сил, що діють на одне і те ж тіло і лежать на одній



прямій, дорівнює нулю, тобто вони компенсують одна одну. Це означає, що дані сили, діючи разом, не порушують рівновагу тіла, а тільки деформують його.

Пряму, яка співпадає з вектором сили, називають **лінією дії сили**. Точку на тілі, де розміщено початок вектора сили, прийнято називати **точкою прикладання сили** (мал. 20.1).



Мал. 20.1.

Сили тяжіння, тертя і пружності

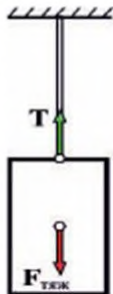
В повсякденному житті ми найчастіше стикаємося з дією сил **тяжіння, тертя і пружності**. Величину сили в СІ вимірюють у ньютоних (Н). Так пошановано видатного англійського фізика Ісаака Ньютона, який уперше детально дослідив силу тяжіння.



Мал. 20.3.

При стисканні чи розтягуванні пружини виникає сила пружності.

На мал. 20.2 зображено тягар, підвішений на тросі до стелі. На тягар діє сила тяжіння ($F_{\text{тяж}}$), яка направлена вертикально вниз. Не падає тягар тому, що на нього з боку троса діє вгору **сила пружності**, яка виникла внаслідок розтягу троса. Цю силу називають силою натягу і позначають літерою T . Силу пружності легко відчутти, стискаючи чи розтягуючи пружину (мал. 20.3).



Мал. 20.2.

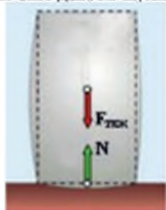
Тягар, підвішений на тросі

Рівновага сил

В нашому прикладі (мал. 20.2) сила тяжіння і сила натягу рівні за величиною і протилежні за напрямом. В сумі ці вектори сил дають нуль і тіло знаходиться в рівновазі (не падає). Сила натягу T виникла в тросі тому, що тягар його розтягує. **Характерною ознакою дії на тіло сили є його деформація.** Деформацією називають зміну розмірів і форми тіла.

Якщо покласти валізу на диван, то легко помітити, що він під нею трохи прогинається (мал. 20.4). Пружини дивану стискаються доти, поки сила N , яка діє на валізу з боку опори (дивану) не врівноважить силу тяжіння $F_{\text{тяж}}$. З цього моменту валіза перебуватиме в рівновазі. Силу N називають реакцією опори (слово «реакція» означає «зворотна дія»).

Випадок, коли на тіло діють дві рівні за величиною і протилежні за напрямом сили, є найпростішим прикладом компенсації сил. Слід зауважити, що в на-



Мал. 20.4.

Сила тяжіння і сила реакції опори компенсують одна одну

веденому прикладі валіза також деформується. Наприклад, під дією сил $F_{\text{тяг}} \text{ і } N$ (мал. 20.4) валіза трохи сплюснується по вертикалі і стає товстішою по горизонталі. Отже, під дією сил, які компенсуються, тіло знаходиться в рівновазі і тільки деформується.



Дослід 20.1

Стисніть до купи два волейбольних м'ячів і переконайтеся, що вони обидва при цьому деформуються. Дайте відповідь на запитання: а) Як залежить величина деформації м'ячів від величини сили, з якою їх стискають? б) Якщо один з м'ячів сильніше накачали, то який з них деформується сильніше? в) Якщо м'ячі мають різні розміри, то як залежить величина вм'ятини від радіусу м'яча?

Інертність



Дослід 20.1

Покладемо на гладку поверхню стола масивну книжку, наприклад, енциклопедію. Прив'яжемо до неї складену вдвоє швейну нитку, залишивши вільним кусок довжиною 30-40 см (мал. 20.5). Натягнемо кінець нитки і плавно приведемо книжку в рух, повільно пересуваючи її по столу. Впевнюємося, що нитка достатньо міцна, щоб долати силу тертя. Тепер повторимо дослід, але відпустимо нитку, а потім різко смикнемо за її кінець. У цьому випадку нитка розірветься, навіть якщо її селастити втричі чи вчетверо, а книжка практично не зрушиться з місця.



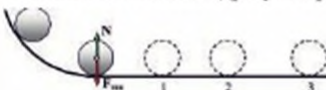
Мал. 20.5.

Інертність книжки не дозволяє різко збільшити її швидкість

У цьому простому досліді ми стикаємося з двома ефектами: 1) при дії некомпенсованих сил швидкість тіла починає змінюватися і 2) властивістю тіл «протистояти» зміні швидкості, яку називають інертністю.

Книга не змогла відразу набрати швидкість, яку ми надали нитці, в результаті чого нитка видовжилася надто сильно і розірвалася. Ми навмисне запропонували взяти масивну книжку, щоб дослід легко вдался.

У випадку зміни тілом його швидкості під дією сили, маса тіла є мірою інертності, тобто чим більша маса тіла, тим важче збільшити чи зменшити його швидкість. По цій причині дуже небезпечно пе-



Мал. 20.6.

Чим менша сила тертя, тим далі котиться куля. У випадку компенсації сил, або їх відсутності, тіло ніколи не зупиниться

ребігати дорогу перед рухомих транспортом. Якби сильні не були гальма автомобіля, він не може зупинитися миттєво і проїжджає до зупинки певний гальмівний шлях.

Рух за інерцією

Ретельно проведені дослідження показують, що **поки сили, які діють на тіло, врівноважені, воно буде знаходитися у стані спокою або рухатиметься рівномірно і прямолінійно**. Це твердження називають **першим законом Ньютона**, або законом інерції.

Якщо факт рівноваги тіла при компенсації сил майже очевидний, то рівномірний рух у випадку компенсації сил викликає подив, адже всі знають, що для того, щоб перемістити важкий ящик по підлозі, треба прикласти значну силу. Але, якщо подумати, то ясно, що сила в даному випадку потрібна тільки для компенсації сили тертя.

Галілео Галілей був першим, хто помітив, що для рівномірного прямолінійного руху сила або зовсім не потрібна, або потрібна, щоб компенсувати дію сили тертя та інших сил, які заважають рухатися. Він запропонував дослід, який підтверджує цю думку.

Пустимо масивну кулю котитися з невеличкого горбика, який плавно переходить в горизонтальну площину (мал. 20.6). Спочатку горизонтальна поверхня була глиняною, і куля зупинилася в точці 1. По дерев'яному настилу куля прокотилася далі, і зупинилася в точці 2. Найдаліше (точка 3) куля котилася по гладкій мармуровій підлозі. Якщо уявити, що сили тертя і опору повітря взагалі відсутні, то логічно допустити, що куля ніколи не зупиниться. Дослід Галілея демонструє гра в боулінг. Гладка підлога дозволяє масивній кулі досягати мети, навіть якщо її кинути з невеликою швидкістю (мал. 20.7).



Мал. 20.7.

Навіть кинута з невеликою швидкістю куля досягає мети, на комах 'отері

Рівномірний рух і спокій.

Галілей був також першим, хто зрозумів, що **рівномірний рух і спокій** нічим не відрізняються між собою. Вода, яка капає з крана у глечик з вузьким горлечком в каюті пришвартованого корабля, буде попадати в глечик і тоді, коли корабель рівномірно рухається по морю (приклад, приведений Галілеєм в одній з його праць).

Рівномірний рух тіла у випадку відсутності сил (або їх компенсації), називають рухом за інерцією. Якщо ви, наприклад, спокійно стоїте в автобусі під час його рівномірного руху по маршруту, то це тому, що сила тяжіння, яка на вас діє вниз з боку Землі і сила пружності підлоги (сила реакції), яка діє вгору – скомпенсовані.



Мал. 20.8.

Краще-тест перевіряє ефективність дії підголовників (1) при ударі по автомобілю ззаду

Якщо ж автобус різко загальмує, то вас «понесе» вперед. Стається так тому, що підшоши взуття зменшують швидкість разом з автобусом, внаслідок дії на них назад сили тертя з боку підлоги, а корпус продовжує рух з попередньою швидкістю, як кажуть, «по інерції», бо сили тяжіння і реакції все ще скомпенсовані, а інші сили поки що не діють.

При різкому ударі ззаду автомобіль може настільки різко рушити вперед, що станеться травма шийних хребців, якщо на сидіннях відсутні підголовники (мал. 20.8). Від різкої зупинки, коли машина вріжеться у перешкоду, рятують ремені безпеки і повітряні подушки.

Підведемо підсумки

- При відсутності сил або їх компенсації:
 - а) тіло зберігає свій початковий стан руху. Це означає, що тіло, яке не рухалося, перебуватиме в спокої і далі;
 - б) якщо ж тіло рухалося, то воно продовжуватиме свій рух з попередньою швидкістю і по прямій траєкторії.
- Якщо на тіло діє не скомпенсована сила, швидкість тіла буде змінюватися: збільшуватися, зменшуватися чи змінювати напрям.



Вправа 20

1. У якому випадку дві сили компенсують одна одну?
2. Які зміни в тілі викликають скомпенсовані сили?
3. Назвіть ознаки деформації тіла.
4. З якими силами ми найчастіше зустрічаємося в повсякденному житті?
5. Що називають «інертністю»?
6. Яким є стан руху тіла у випадку: а) відсутності та б) компенсації сил?
7. Який рух називають рухом «за інерцією»?
8. На тіло діють дві сили, які компенсують одна одну. а) Які ці сили за напрямом і величиною? б) Опишіть стан руху цього тіла.
9. На тіло діють дві протилежно направлені сили, які діють вздовж однієї прямої. За якої умови тіло: а) рухається рівномірно; б) збільшує швидкість; в) зменшує швидкість; д) не рухається?
10. Чи може рухатися тіло, на яке взагалі ніяка сила не діє?
- 11*. Чи може маса тіла дорівнювати нулю?
12. На столі лежить книга. а) З якими тілами вона взаємодіє? б) Які сили діють на книгу?
13. Чому автомобіль не може миттєво: а) зупинитися, б) рушити з місця та в) повернути?
14. Муляр відколов частину цеглини, тримаючи її в руці і вдаряючи по ній молотком.

а) Чому руці при цьому не боляче? б)* Чому відколюється саме та частина цеглини, по якій ударяє молоток?

15. На столику в вагоні потягу лежить м'ячик. Якою буде поведінка м'ячика у випадку, коли поїзд : а) рухається рівномірно, б) зупиняється, в) набирає швидкість, г) стоїть на зупинці?

16. Килим витрушують, ударяючи по ньому палицею. Поясніть, внаслідок чого пилітка покидає килим, а не «втискується» в нього?

17. Для чого на сидіннях автомобіля потрібні: а) підлопівники; б) ремені безпеки і в) повітряні подушки?

18. Чи може автомобіль з вимоненим двигуном рухатися рівномірно а) по горизонтальному шосе; б)* по схилу вниз?

19*. Два вагони різної маси зіштовхнулися на маневровій ділянці колії. На який вагон подіяла більша сила?

20*. В пілметра від берега знаходиться шестимісний човен. Якому пасажиру легше стрибнути на берег: першому, чи останньому? Назвіть дві причини.

21*. Чому на великій швидкості небезпечно гальмувати переднім колесом велосипеда?

22*. Чому цвях легше забити, ударяючи по ньому молотком, а не просто натискаючи на нього?

§ 21. ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. РЕЗУЛЬТАТ ДІЇ СИЛИ

Якщо м'ячик випустити з рук на певній висоті, то він почне падати і рухатиметься з наростаючою швидкістю, поки не зіткнеться з підлогою.

Коли футболіст ударяє ногою по м'ячу, то м'яч різко збільшує свою швидкість, в той час як швидкість ноги при ударі дещо зменшується (мал. 21.1). При цьому виконується важливий закон природи (III-й закон Ньютона): **сили, з якими тіла діють одне на одне, однакові за величиною і протилежні за напрямом**. Це можна коротко записати так:

$$F_1 = - F_2 \quad (21.1)$$

Знак «-» вказує на те, що сили протилежні. Крім того, сили взаємної дії діють вздовж однієї прямої і на різні тіла. В нашому прикладі сила F_1 діє на м'яч вперед, а сила F_2 – на ногу футболіста назад. Лінії дії цих сил співпадають. Ньютон сформулював III-й закон дуже просто: **дія дорівнює протидії**.



Мал. 21.1.

Сила F_1 діє на м'яч, сила F_2 – на ногу

Сила і рух. Зміна швидкості. Прискорення

У випадку, коли сили, що діють на тіло, не компенсуються, його швидкість змінюється і воно рухається нерівномірно. Для повного опи-

су **нерівномірного** руху необхідна величина, яка б показувала, як швидко змінюється швидкість із часом. Цю величину називають **прискоренням** і позначають буквою "а" (від англ. *acceleration* – прискорення).

Нехай тіло, рухаючись прямолінійно, мало в деякий початковий момент часу « t_0 » швидкість v_0 , а в більш пізній момент часу « t » його швидкість стала рівною « v ». За проміжок часу $(t-t_0)$ швидкість тіла змінилася на величину $(v-v_0)$. **Прискорення, це векторна фізична величина, яка дорівнює відношенню зміни швидкості тіла до проміжку часу, за який відбулася ця зміна:**

$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0} \quad (21.2)$$

Прискорення показує, на скільки змінюється (збільшується чи зменшується) швидкість тіла за одиницю часу.

Приклад 21.1

Швидкість тіла за 5 с рівномірно збільшилася від 6 м/с до 21 м/с. Яке прискорення тіла?

Дано: $v_0 = 6 \text{ м/с}$ $v = 21 \text{ м/с}$ $t = 5 \text{ с}$ $a = ?$	Розв'язання. Згідно формули (21.1): $a = \frac{21 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{5 \text{ с}} = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ Цей результат означає, що за кожен секунду швидкість тіла збільшувалася на $3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.
--	---

Відповідь. Прискорення тіла: $a = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ (читають: три метри за секунду в квадраті, або, як кажуть пілоти – три метри в секунду за секунду).



Мал. 21.2.
Прискорення літакові надають потужні двигуни

Саме у професії військового льотчика і космонавта врахування прискорення дуже важливе, оскільки літак (мал. 21.2) і ракета (мал. 21.3) можуть рухатися з великими прискореннями, що у свою чергу призводить до значних перевантажень (збільшення ваги тіла). Майже граничні перевантаження відчуває льотчик при катапультиванні, коли крісло покидає кабінку під дією порохівих зарядів, що діють подібно до ракет. Значні прискорення й, відповідно, перевантаження, відчувають на

крутих виражах бобслеїсти, гірськолижники і пілоти перегонних машин Формули-1 (мал. 21.4).

Приклад 21.2

Швидкість тіла за 3 с рівномірно зменшилася від 12 м/с до 6 м/с. Яке прискорення тіла?

Дано:

$$v_0 = 12 \text{ м/с}$$

$$v = 6 \text{ м/с}$$

$$t = 3 \text{ с.}$$

$a = ?$

Розв'язання. Згідно формули (21.1):

$$a = \frac{6 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{3 \text{ с}} = -2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}. \text{ Цей результат означає, що за кожну секунду швидкість тіла зменшувалась на } 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Відповідь. Прискорення тіла: $a = -2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Сила і прискорення

Якщо сили, які діють на тіло, не компенсуються, то тіло одночасно і деформується, і змінює свою швидкість (тобто рухається з прискоренням). Уточнимо визначення сили: сила – це векторна фізична величина, яка є наслідком дії на тіло інших тіл і спричиняє деформацію та прискорення.



Дослід 21.1

Рукою притисніть до стола частину пружної лінійки. На кінець лінійки, що виходить за межі стола покладіть ластик (гумку для стирання), натисніть на цей кінець трохи вниз і відпустіть – ластик підлетить догори. Поясніть: а) яка сила розпрямляла лінійку; б) чому ластик підлетів догори? в) Чому він потім впав?

Приклад 21.3

Коли автомобіль рушає з місця, сила тяги повинна перевищити сили, які заважають рухові (треба сильно тиснути на педаль акселератора).

Коли ж автомобіль набрав потрібну швидкість, водій тисне на акселератор



Мал. 21.3.

Ракета стартує з великим прискоренням



Мал. 21.4.

Сила тяги прискорює автомобіль, а сили тертя і опору повітря зменшують його швидкість

тільки в тій мірі, щоб сила тяги, яка діє на автомобіль вперед, компенсувала силу тертя і силу опору повітря, яка на великій швидкості стає суттєвою.

За таких умов прискорення стає рівним нулю (тобто швидкість на змінюється) і автомобіль рухається рівномірно. (На мал. 21.4 сили, що заважають рухатися, зображені зеленою стрілкою, а сила тяги – червоною.

Сила і маса

Сила, необхідна для прискорення тіла масою m , повинна бути тим більшою, чим більша маса тіла. Маса тіла є мірою інертності цього тіла, і чим більша маса, тим більше зусилля потрібно прикласти, щоб змінити швидкість тіла, тобто надати йому прискорення. Цей факт відображено у другому законі Ньютона:

$$F = m \cdot a, \quad (21.3)$$

де « m » – маса тіла, « a » – його прискорення, а F – рівнодійна сил тяги і сил опору, тобто їх різниця (бо вони протилежні).

Формула (21.1) означає, що **силу можна обчислити як добуток маси тіла на його прискорення**. У прикладі 21.3 в якості сили потрібно взяти різницю сили тяги і сили опору рухові, бо вони протилежно напрямлені.

Силу вимірюють у ньютонях (Н), масу в кілограмах (кг), а прискорення у $\text{м}/\text{с}^2$. Згідно формули $F = m \cdot a$, яку можна отримати з (21.1): – це означає, що сила 1 Н надає тілу масою 1 кг прискорення $1 \text{ м}/\text{с}^2$ у напрямі, що співпадає з напрямом сили.

Приклад 21.4

Сила тяги автомобіля становить $F_{\text{тяги}} = 4800 \text{ Н}$, а сила опору $F_{\text{опору}} = 1800 \text{ Н}$. Маса автомобіля 1500 кг. **а)** Яке прискорення розвиває автомобіль? **б)** Яким стане прискорення автомобіля, коли сила опору зросте до 4800 Н?

Дано:

$$F_{\text{тяги}} = 4800 \text{ Н}$$

$$\text{а) } F_{\text{опору1}} = 1800 \text{ Н}$$

$$\text{б) } F_{\text{опору2}} = 4800 \text{ Н}$$

$$m = 1500 \text{ кг.}$$

$$a = ?$$

Розв'язання. а) Величина рівнодієвної сили:

$$F = F_{\text{тяги}} - F_{\text{опору1}} = 3000 \text{ Н.}$$

З формули (21.1) визначасмо прискорення $a = \frac{F}{m}$.

Обчислення дають: $a = \frac{3000 \text{ Н}}{1500 \text{ кг}} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

б) Коли сила опору зросте до 4800 Н, рівнодійна F стане рівною нулю, внаслідок чого і прискорення дорівнюватиме нулю: $F = 0 \Rightarrow a = 0$. Тобто автомобіль почне рухатися рівномірно.

Відповідь. а) Прискорення автомобіля: $a = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. б) $a = 0$, рух рівномірний.

Зіткнення тіл

При зіткненні, згідно III закону Ньютона, тіла діють одне на одне з однаковими і протилежно направленими силами, незалежно від їх маси (формула 21.1). Якщо врахувати і II закон Ньютона (формула 21.3), то виходить, що при зіткненні **прискорення тіла більшої маси буде меншим**. В результаті математичних перетворень отримуємо:

$$m \cdot a = -m \cdot a \quad (21.4)$$

Це співвідношення справедливе при будь-якій взаємодії.

Розглянемо простий випадок, коли початкові швидкості взаємодіючих тіл дорівнюють нулю:

Приклад 21.5

Два візки масою m , та m_2 , що знаходяться на горизонтальній поверхні (мал. 21.5), скріплено пружиною, яка на початку досліду утримується в стиснутому стані ниткою. Після того, як нитку перепалили, пружина розштовхнула візки, надавши їм деякі швидкості v_1 і v_2 .



Мал. 21.5.

У скільки разів відрізнятиметься швидкість візків?

Розв'язання. В цьому спрощеному випадку формула (21.2) дає такі результати:

$$a_1 = \frac{v_1 - 0}{t - 0} = \frac{v_1}{t}, \quad a_2 = \frac{v_2}{t} \quad \text{— очевидно, що час взаємодії однаковий. Тоді,}$$

за допомогою формули (21.4) отримуємо: $m \cdot v = -m_2 \cdot v_2$, де знак «-» вказує на те, що візки роз'їхалися в різні сторони. Отже, $\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m}$.

Знак «-» у даному відношенні не ставиться.

Відповідь: $\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m}$ — швидкість другого візка у стільки ж разів

більша, за швидкість першого візка, у скільки разів маса першого візка більша за масу другого візка. Або коротко: відношення швидкостей візків, в результаті взаємодії, обернено пропорційне до відношення їх мас.

Підведемо підсумки

- Сила — це векторна фізична величина, яка є наслідком дії на тіло інших тіл і спричиняє деформацію та прискорення.
- Прискорення показує зміну швидкості тіла за одиницю часу.
- Другий закон Ньютона: Рівнодійна сила дорівнює добутку маси тіла на його прискорення.
- Сили, з якими тіла діють одне на одне, однакові за величиною і протилежні за напрямом (III-й закон Ньютона)

- При взаємодії тіл, їх прискорення протилежно направлені і обернено пропорційні до їх мас.



Вправа 21

1. Як рухається м'ячик, випущений з рук на деякій висоті?
2. Яка розмірність прискорення?
3. Для чого потрібна така фізична величина, як прискорення?
4. Яка розмірність сили в СІ?
5. Як можна підрахувати прискорення і що для цього треба знати?
6. Чому педаль газу в автомобілі називають акселератором?
7. Наведіть приклади прискореного руху в побуті та техніці.
8. У які моменти відчують прискорення пілоти перегонових машин?
9. Як змінюється швидкість м'яча і ноги футболіста при ударі (мал. 21.1)?
10. Як змінюється швидкість стрибуна в висоту, коли він летить вгору, і коли падає вниз?
11. Коли парашутист рухається прискорено, а коли рівномірно?
12. Чому автомобіль зменшує швидкість при гальмуванні?
13. Прочитайте значення прискорення 10 м/с^2 й поясніть його фізичний зміст.
14. Упродовж трьох секунд тіло збільшило швидкість від 4 до 18 м/с . Знайдіть: а) прискорення тіла; б) поясніть зміст отриманого числа.
15. Швидкість тіла зменшилася на 8 м/с за 2 с . Яким було його прискорення?
16. Двигун автомобіля масою 2000 кг на старті розвиває силу $16\,000 \text{ Н}$. а) Яке прискорення автомобіля? б) Якою буде його швидкість через дві секунди? Силами опору можна знехтувати.
17. Чому, коли ми стрибаємо з човна на берег, від починає рухатися від берега?
- 18*. Нехай у прикладі 21.5 маса першого візка 200 г , а другого 500 г . Якою буде швидкість другого візка після вивільнення пружини, якщо перший візок набув швидкості 100 см/с ?
- 19*. Поясніть причину «віддачі», тобто «відскакування назад» гармати, чи рушниці під час вистрілу.
- 20*. а) Яка швидкість віддачі рушниці масою $2,8 \text{ кг}$, якщо куля масою 10 г вилітає зі ствола зі швидкістю 420 м/с ?
- 21*. Чому при вистрілі з рушниці, її потрібно міцно притискати до плеча?
- 22*. Як змінюється швидкість парашутиста в затяжному стрибку, якщо він вистрибнув з літака на дуже великій висоті і доволі не відкриває парашут?
- 23*. Мотоцикл рушив з місця, рівномірно набираючи швидкість. Через час $t = 5 \text{ с}$ він набув швидкості $v = 20 \text{ м/с}$. а) Накресліть графік швидкості мотоцикла і обчисліть шлях, який він пройшов за 5 с . б) Знайдіть середню швидкість мотоцикла $v_{\text{ср}}$ за 5 с , виразивши її через максимальну швидкість v .

§ 22. СИЛА ПРУЖНОСТІ. ЗАКОН ГУКА. ДИНАМОМЕТРИ

Види деформацій

Деформацією називають зміну форми і розмірів тіла. Перелічимо види деформації. Деформація розтягу-стиску виникає, наприклад, якщо ми розтягуємо чи стискаємо пружину (мал. 22.1, випадок 1, 2). Якщо кінці лійки обертає в різні сторони – отримаємо деформацію кручення (випадок 3). Зігнувши дугою лійку, ви спричините деформацію згину (випадок 4). Стругаючи ножом дерев'яну паличку, ми здійснюємо деформацію зсуву (випадок 5).

Однак усі види деформації можна звести до одного типу – деформації розтягу-стиску, це видно з мал. 22.2 М4) на прикладі деформації згину гумки: верхня частина гумки розтягується, а нижня – стискається.

Підвісимо легку пружину так, щоб вона могла вільно зайняти вертикальне положення (мал. 22.3). Довжину пружини у недеформованому стані позначимо l_0 . Потягнемо вільний кінець пружини з деякою силою F вниз. Довжину пружини після видовження позначимо через l . Різницю $l - l_0$ називають видовженням і позначають літерою « x ».

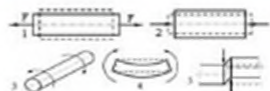
Пружна деформація

Деформація називається пружною, якщо після припинення дії сил, що спричинили деформацію, тіло відновлює свою форму й розміри.

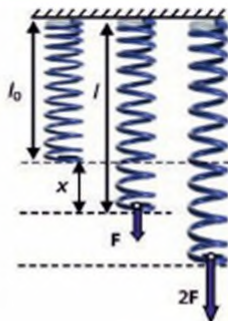
Сила, прикладена до пружини видовжуватиме її доти, поки сила пружності, яка напрямлена вгору, не зрівноважить цю силу. Якщо припинити дію зовнішньої сили, то сила пружності повертає пружині форму і розмір, що їх вона мала до початку дослідів.



Мал. 22.1.
Деформація корпусу
автомобіля при ударі збоку
(краш-тест)



Мал. 22.2.
Види деформацій



Мал. 22.3.
 l_0 – довжина недеформованої пружини, l – довжина деформованої пружини.
Видовження $x = l - l_0$

Прикладемо до пружини вдвічі більшу силу і переконаємося, що видовження стало вдвічі більшим. Утрічі більша сила дасть втричі більше видовження.

Закон Гука

До тих пір, поки пружина зберігає пружні властивості, **видовження пружини прямо пропорційне величині сили, яка її деформує**. Цей простий закон поведінки пружних тіл, відкритий англійським фізиком Робертом Гуком, названо на його честь – **закон Гука**. В математичній формі закон можна записати так:

$$F = kx \quad (22.1)$$

де F – це **сила, що видовжує пружину**. Коефіцієнт пропорційності « k » називають **жорсткістю** пружини і його можна визначити з формули (22.1) як:

$$k = \frac{F}{x} \quad (22.2)$$

Жорсткість вимірюють у Н/м, якщо « x » вимірювати в метрах, або Н/см, якщо x виміряли в сантиметрах. **Жорсткість показує, яку силу треба прикласти до пружини, щоб вона видовжилася на одиницю довжини.**

Приклад 22.1

Жорсткість пружини $k = 0,5$ Н/см. а) Який фізичний зміст вказаного значення жорсткості? б) Складіть таблицю залежності сили F і жорсткості k від видовження x цієї пружини. в) Накресліть графік залежності сили від видовження $F(x)$.

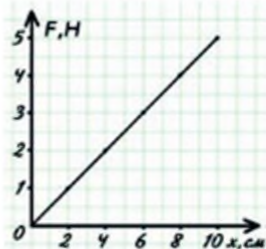
Розв'язання. а) Жорсткість 0,5 Н/см означає, що сила 0,5 Н видовжує пружину на 1 см. Чим більша жорсткість, тим важче пружину розтягувати чи стискати.

б)

x , см	2	4	6	8	10
F , Н	1	2	3	4	5
k , Н/см	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

в) Див. мал. 22.4.

Зауваження. Жорсткість не залежить від прикладеної сили і від величини видовження, тобто є сталою величиною для даної пружини. Це означає також, що графіком $F(x)$ при пружних деформаціях є пряма.



Мал. 22.4.
Графік $F(x)$.

Завдання. Побудуйте на тому самому малюнку (мал. 22.4) графік залежності величини деформуючої сили від видовження пружини, жорсткість якої 1 Н/см.

Динамометр вимірює силу

Прямо пропорційна залежність між деформацією « x » та деформуючою силою « F » дозволяє використати пружину для вимірювання сили. Прилад, за допомогою якого вимірюють величину сили, називають динамометром. Цей термін походить від двох грецьких слів: *динос* – сила і *метрон* – вимірювати.

Основною деталлю динамометра є стальна пружина. Сталь вибрана тому, що це достатньо пружний матеріал. До вільного кінця пружини прикріплено стрілку, яка рухається вздовж шкали з поділками, проти яких зазначено величину сили (мал. 22.5). Динамометр має обмежувач, який не дозволяє пружині видовжуватися за межі прямої пропорційності.



Мал. 22.5.
Вимірювання сили

Приклад 22.2

а) Яка жорсткість пружини динамометра (мал. 22.3), якщо відстань між нульовою і першою позначкою шкали становить 2,5 см? б) З якою силою діє на пружину батарейка?

Розв'язання. а) Згідно формули (16.2) $k = 1\text{Н}/2,5\text{ см} = 0,4\text{ Н/см}$.

б) Ціна поділки шкали динамометра становить 0,1 Н, отже він показує силу 1,9 Н. Стандартний запис результату вимірювання сили:

$$F = (1,90 \pm 0,05)\text{Н}$$

Зауваження. Початкове положення стрілки динамометра не зовсім точно співпадає з нулем шкали, тому тягар діє на пружину з дещо меншою силою, ніж вказує стрілка. Можна спробувати оцінити поправку.

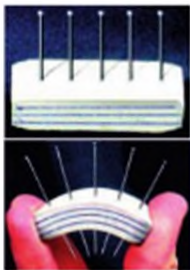
Практична цінність наукового дослідження

При будівництві кораблів, літаків, будинків, мостів, веж використовують балки, які служать опорами або ж перекриттям.



Дослід 22.1

Проведемо простий досвід, ідея якого спричинила революцію в будівельній індустрії. Візьмемо довгий гумовий ластик і ввішємо в нього кілька голок так, щоб вони виступали з обох сторін (мал. 22.6). Зігнемо ластик, моделюючи прогин балки. Видно, що з одного



Мал. 22.6.
Деформація згину показує, що внутрішня частина зумки не деформується

Використання армованого залізними прутами бетону. Справа в тому, що залізо добре витримує деформацію розтягу, а бетон міцний «на стиск». Таким чином залізобетон витримує будь-які деформації.



Дослід 22.2

а) Візьміть аркуш паперу й покладіть його краї на дві опори (ними можуть бути дві склянки чи дві сірникові коробки). Отримаєте щось схоже на міст. Під дією власної ваги він прогнеться. б) Потім складіть аркуш, зробивши його гофрованим (мал. 22.8). Який максимальний вантаж із сірникових коробок може витримати така конструкція?



Тема для дослідження

22.1. Знайдіть спосіб визначення міцності зовнішньої частини сірникової коробки в різних напрямках.

22.2. Побудуйте модель підвісного моста.

22.3. Як виготовляють і де використовують «попередньо напружений бетон»? Підготуйте на цю тему реферат.

Підведемо підсумки

- Закон Гука дозволяє описати усі види деформації.
- Формула закону Гука для пружної деформації розтягу-стиску: $F = kx$.
- Силу вимірюють динамометром. Основна деталь приладу – стальна пружина.

боку кінці голок зблизилися, а з іншого – розійшлися. Це свідчить про те, що нижня сторона нашої «балки» стискається, а верхня – розтягується.

А як поводить себе середина балки? Очевидно, що вона деформується мало. Це означає, що внутрішня частина балки може бути порожньою без суттєвої шкоди для міцності балки. Круту суцільну балку можна замінити трубою, прямокутною – П-подібною, Т-подібною, хвилястою (як шифер) або ж схожою на рейки, з яких монтують залізничні колії.

Ви, мабуть, бачили, що залізобетонні плити, якими перекриваються поверхні багатопверхових будинків, мають усередині трубоподібні порожнини (мал. 22.7). Ці «хитрощі» дають наступні вигоди: а) зменшення затрат матеріалу; б) зменшення ваги конструкції; в) поліпшення тепло- та звукоізоляції.

Другою ідеєю, яка суттєво змінила спосіб будівництва, стало ви-



Мал. 22.7.
Конструкції різних профілів



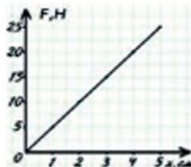
Мал. 22.8.
Гофрований папір витримує значний вантаж

- Знання фізики деформацій призвело до революції в будівельній індустрії.



Вправа 22

1. При яких деформаціях виконується закон Гука?
2. Яка властивість пружини дозволяє використовувати її як прилад для вимірювання сили?
3. Як деформується середня частина балки при деформації згину?
4. Яка лінія зображає графік $F(x)$ при пружній деформації?
5. Яку ще вигоду крім міцності і малої ваги мають від пустих всередині перекриттів?
6. Назвіть дві ознаки того, що деформація тіла пружна.
7. Чому не прогинається гофрований аркуш паперу?
8. Рама велосипеда зроблена із трубок. Чим це вигідно?
9. Чому пружину динамометра виготовляють зі сталі, а не з міді?
10. Запропонуйте спосіб вимірювання згину балки.
11. Накресліть профіль поперечного перерізу ободу велосипедного колеса.
12. Накресліть профіль перерізу залізничної рейки і поясніть, чому він саме такий.
13. Як деформується: а) трос підвісного мосту; б) самий міст; в) пілони (стовпи, до яких кріпляться троси)?
14. Яку силу покаже динамометр, якщо до нього підвісити дві батарейки (мал. 22.5)?
15. Знайдіть жорсткість пружини, яка відовожується на 3 см під дією сили 36 Н. Виразіть жорсткість в Н/см.
16. Яку силу необхідно прикласти до пружини жорсткістю 20 Н/см, щоб відовожити її на 3 см?
17. Побудуйте два графіки залежності сили, яка деформує пружину, від відовоження для пружин, жорсткості яких: а) 2 Н/см; б) 4 Н/см.
18. За графіком залежності сили, що деформує пружину, від відовоження визначте жорсткість пружини (мал. 22.9).
19. Якщо дві однакові пружини жорсткістю k з'єднати послідовно одна за одною, то якою буде жорсткість складеної пружини?
20. Запишіть значення сили F , яку показує динамометр (мал. 22.10), визначивши ціну поділки та абсолютну і відносну похибку вимірювання.



Мал. 22.8.

До задачі 18.



Мал. 22.10.



Роберт Гук (1635-1703). Гук народився 1635 року на острові Уайт у сім'ї церковного служителя. Після закінчення школи навчався в Оксфордському університеті. Спочатку працював асистентом відомого фізика Роберта Бойля, допомагаючи йому конструювати повітряний насос. Гук побудував великий дзеркальний телескоп і відкрив зоряне скупчення в сузір'ї Оріона – так звану Трапецію Оріона, а також уперше помітив, що Юпітер обертається довкола власної осі. Крім того, Гук удо-

сконалив мікроскоп і вивчав будову кристалів, зокрема сніжинок; увів поняття “клітина” в біології; розглядав можливість створення штучних волокон; у 1672 році відкрив дифракцію світла і, щоб пояснити це явище, запропонував хвильову теорію світла. Гук виявився першим, хто довів, що тіла при нагріванні розширюються, і висловив гіпотезу, що повітря складається з маленьких частинок, розташованих на відносно великих відстанях. Він також здогадався, що планети рухаються навколо Сонця по еліпсах і притягаються до нього з силою, обернено пропорційною квадрату відстані від планети до Сонця (але не зумів це довести). Гук запропонував використовувати для дослідження сили тяжіння маятник. У 1660 році вчений відкрив закон пружних деформацій, тобто довів, що пружне видовження твердих тіл пропорційне прикладеній силі. Він навіть зробив спробу теоретично пояснити свій закон взаємодією атомів, з яких складаються тіла, і показав, що жорсткість пружини залежить не тільки від матеріалу пружини, а й від її довжини та площі перерізу. Гук застосував закон пружних деформацій для дослідження годинникових пружин.

§ 23. ДОДАВАННЯ СИЛ. РІВНОДІЙНА. МАСА І СИЛА

Якщо на тіло діє декілька сил, то їх можна замінити однією, яку називають рівнодійною силою.

Графічне зображення сил. Додавання сил, напрямлених вздовж однієї прямої

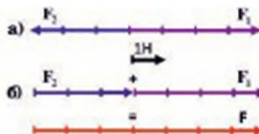
Розглянемо сили, що діють вздовж однієї прямої.

а) Коли сили напрямлені в один бік, то величина їх рівнодійної дорівнює сумі величин цих сил і направлена в той самий бік.

б) Якщо сили протилежно напрямлені, то величина їх рівнодійної дорівнює різниці величин цих сил і направлена в бік більшої сили.

На мал. 23.1 вибрано масштаб, при якому 1 см відповідає силі 1 Н. Тоді сила $F_1 = 4\text{ Н}$ зобразиться вектором, довжина якого становить 4 см, а сила $F_2 = 3\text{ Н}$ – вектором, довжина якого становить 3 см.

Рівнодійну сил F_1 і F_2 позначимо як F , це записують так: $F = F_1 + F_2$.
У випадку а) результат спільної дії сил F_1 і F_2 на дане тіло буде такий



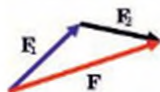
Мал. 23.1.

- а) Сили віднімаються, коли вони напрямлені в протилежні сторони.
б) Сили додаються, коли вони діють в одному напрямі

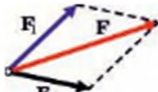
самий, як у силі F величиною 1 Н, направленої вправо. У випадку б), коли сили F_1 і F_2 діють в одному напрямі, їх рівнодійна дорівнює сумі цих сил, тобто 7 Н і напрямлена так само, як і вектори цих сил.

Додавання сил, напрямлених довільним чином

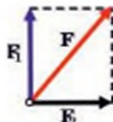
Сили додаються як вектори, тобто так само, як переміщення і швидкості (мал. 23.2). При додаванні сил прийнято проводити їх з однієї точки (точки прикладання), як на мал. 23.3. Очевидно, що результат додавання сил за правилом трикутника і правилом паралелограма однаковий. На мал. 23.4 зображено частинний випадок, коли сили напрямлені під прямим кутом. У кожному випадку рівнодійна сила $F = F_1 + F_2$. Як вже говорилося в попередніх параграфах, отримати числове значення суми сил, направлених довільним чином, можна, вибравши довжину стрілок в певному масштабі.



Мал. 23.2.
Додавання сил
за правилом
трикутника



Мал. 23.3.
Додавання сил
за правилом
паралелограма

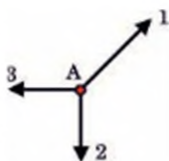


Мал. 23.4.
Додавання сил,
направлених під
прямим кутам

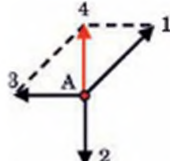
Приклад 23.1

На тіло в точці А (мал. 23.5) діють три сили, пронумеровані як 1, 2 і 3. Яким буде результат дії цих сил на тіло?

Розв'язання. Знайдемо рівнодійну сил 1 і 3. З мал. 23.6 видно, що рівнодійна цих сил є вектор сили 4, який компенсує силу 2. Отже, рівнодійна сил в точці А дорівнює нулю і тіло не змінюватиме свій стан руху.



Мал. 23.5.
На тіло в точці А
діють три сили



Мал. 23.6.
Замінимо сили 1 і 3
рівнодійною 5

Сила, маса і прискорення

Прискорення тіла залежить від величини рівнодійної тих сил, що на нього діють і від маси тіла. Чим більша, наприклад, маса автомобіля, тим повільніше він буде набирати швидкість при даній силі тяги, тобто тим меншим буде його прискорення. Маса тіла є мірою

інертності цього тіла, і чим більша маса, тим більше зусилля потрібно прикласти, щоб змінити швидкість тіла, тобто надати йому прискорення. Цей факт відображено у **другому законі Ньютона**:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}, \quad (23.1)$$

де « m » – маса тіла, « a » – його прискорення, а F – рівнодійна сила тяги і сил тертя, тобто їх різниця (бо вони протилежні).

Формула (23.1) показує, що **прискорення « a » тіла буде тим більшим, чим більшою є рівнодійна сила, які на нього діють (при незмінній масі), і прискорення « a » тим менше, чим більша маса тіла (при незмінній рівнодійній силі).**

Залежно від того, направлена рівнодійна сила вперед чи назад, тіло збільшуватиме чи зменшуватиме свою швидкість.

Силу вимірюють у ньютонах (Н), масу в кілограмах (кг), а прискорення у м/с^2 . Згідно формули $F = m \cdot a$, яку можна отримати з (23.1): $1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}^2$ – це означає, що рівнодійна сила 1 Н надає тілу масою 1 кг прискорення 1 м/с^2 у напрямі, що співпадає з напрямом рівнодійної сили.

Приклад 23.2

Два однакових за масою автомобілі стартують одночасно. Рівнодійна сила тяги і сил опору першого автомобіля вдвічі більша за рівнодійну силу другого (мал. 23.7). У результаті через 10 секунд (характерний відрізок часу для стартертестів) перший автомобіль розвине у два рази більшу швидкість (тобто рухатиметься з прискоренням, яке вдвічі більше від прискорення другого автомобіля).

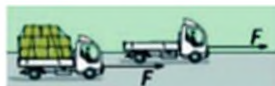


Мал. 23.7.

При однакових масах вперед вирветься той автомобіль, у якого сильніший двигун

Приклад 23.3

Двигуни двох автомобілів, розвивають однакові зусилля. Маса автомобілів відрізняються втричі. За однаковий час від моменту старту автомобіль меншої маси розвине втричі більшу швидкість (мал. 23.8).



Мал. 23.8.

При однаковій силі двигунів вперед вирветься менший за масою автомобіль

Щоб два тіла з різними масами рухалися з однаковими прискореннями, потрібно до тіла більшої маси прикласти більшу силу.

Якщо потрібно збільшити швидкість тіла, треба подіяти на нього силою, яка збігається з напрямком його швидкості. І навпаки, для зменшення швидкості, сила має бути направлена проти напрямку руху.

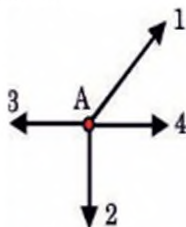
Підведемо підсумки

- Якщо на тіло діє декілька сил, їх потрібно векторно додати. Результат додавання називають рівнодійною всіх доданих сил: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots$
- Прискорення тіла прямо пропорційне рівнодійній силі \vec{F} і обернено пропорційне масі тіла: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ - II закон Ньютона.
- Маса тіла є мірою його інертності (цю масу називають інертною).

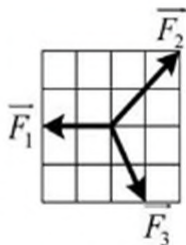


Вправа 23

1. Якщо на тіло діє декілька сил, то як називають їх векторну суму?
2. Якщо сили напрямлені вздовж прямої в одну сторону, то чому дорівнює величина і напрям рівнодійної цих сил?
3. Якщо сили напрямлені вздовж прямої в протилежні сторони, то чому дорівнює величина і напрям рівнодійної цих сил?
4. Як зміниться прискорення тіла, якщо: а) при незмінній масі збільшити рівнодійну силу? б) при незмінній рівнодійній силі збільшити масу тіла?
5. Як виразити одиницю вимірювання сили через основні одиниці СІ?
6. Яку властивість тіла описує маса при дії на тіло сил, що не компенсуються?
7. Масу автомобіля збільшили в п'ять разів, не змінюючи силу тяги двигуна. Як зміниться його прискорення?
8. Як зміниться прискорення тіла, якщо його масу і значення рівнодійної сили збільшити в однакову кількість раз?
9. Упродовж трьох секунд тіло масою 5 кг збільшило швидкість від 6 до 18 м/с. Обчисліть величину сили, яка діяла на тіло.
10. На тіло масою 2 кг діє направлена вправо рівнодійна сила 10 Н. а) Яким буде напрям прискорення і його величина? б) На скільки зросте швидкість тіла за дві секунди?
11. а) Якою була рівнодійна сила, що діяла на менш потужний автомобіль в прикладі 23.2, якщо за 10 с він зі старту набрав швидкість 72 км/год? Маса автомобіля 1500 кг. б) Яку швидкість набрав більш потужний автомобіль?
12. У скільки разів відрізняються прискорення автомобілів у прикладі 23.3?
13. Яка маса тіла, якщо сила 24 Н надала йому прискорення 6 м/с²?
- 14*. На тіло в точці А (мал. 23.9) діють чотири сили, пронумеровані як 1, 2, 3 і 4. Величина четвертої сили становить 5 Н. а) Яка величина рівнодійної цих сил і куди вона напрямлена? б) Яку силу потрібно збрати, щоб тіло знаходилося в стані спокою?
- 15*. Величина вектора сили F_1 дорівнює 2 Н (мал. 23.10). а) Яка величина і напрям рівнодійної усіх трьох сил? б) Чому дорівнює величина сили F_2 і F_3 ?



Мал. 23.9.
До задачі 13



Мал. 23.10.
До задачі 14

§ 24. СИЛА ТЯЖІННЯ. ВАГА ТІЛА. НЕВАГОМІСТЬ

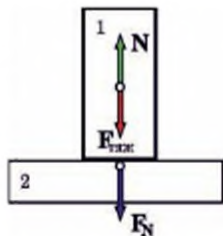
Де б ми не були – високо в горах, на рівнині чи в глибокій шахті – скрізь на нас діє сила тяжіння. Цікаво, а чому ж ми не провалюємося «крізь землю»?

Сила, з якою тіло діє на опору

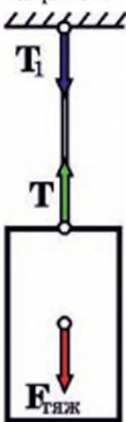
Розглянемо тіло 1 (мал. 24.1), яке знаходиться в рівновазі на горизонтально розташованій підставці 2. Підставкою в реальному житті може бути дорога, підлога чи крісло.

На тіло діє вертикально вниз з боку Землі сила тяжіння $F_{\text{тяж}}$, в результаті чого з боку тіла на підставку **перпендикулярно до поверхні** діє сила тиску F_N . Зворотна дія підставки на тіло (реакція опори N) є силою пружності і виникає внаслідок деформації тіла і підставки.

Сила тяжіння $F_{\text{тяж}}$ і сила реакції опори N у випадку рівноваги тіла зрівноважують одна одну, тобто вони рівні за величиною і протилежні за напрямом.



Мал. 24.1.
Тіло 1 на підставці 2



Мал. 24.2.
Тягар,
підвішений
на тросі

Сила F_N (дія тіла на підставку) і сила N (протидія підставки) завжди рівні за величиною і протилежні за напрямом. Цей факт добре перевірений на дослідах і носить назву **третього закону Ньютона**. Таким чином тіло, зрівноважене на горизонтальній підставці, діє на опору з силою F_N , яка за величиною і напрямом дорівнює силі тяжіння $F_{\text{тяж}}$.

Сила, з якою тіло діє на підвіс

Розглянемо тіло, підвішене на тросі (мал. 24.2). На тіло діє з боку Землі сила тяжіння $F_{\text{тяж}}$, в результаті чого воно тягне трос униз. Трос деформується (розтягується) і діє на тіло з силою натягу, яку прийнято позначати буквою T . Якщо тіло зрівноважене, то сили $F_{\text{тяж}}$ і T повинні компенсувати одна одну (тобто вони рівні за величиною і протилежні за напрямом). Сили T і T_1 які діють на тіло і стелю також рівні, якщо нехтувати масою троса.

Силу F_N і T_1 зазвичай позначають літерою P і називають вагою. Вага – це сила, з якою тіло діє на горизонтальну опору, або розтягує вертикальний підвіс.

Процедура зважування

Коли треба **зважити** тіло, його кладуть на чашку пружинної ваги або підвішують до пружини динамометра. **Зважування потребує дотримання певної процедури.** Зокрема, поверхня чашки повинна бути горизонтальною, а пружина динамометра – бути розміщеною вадовж вертикалі. Крім того, вага чи динамометр повинні бути нерухомими відносно тіла відліку (приміщення, в якому відбувається зважування).

Уточнимо поняття «вертикаль». **Вертикаль** – це прямовисна лінія, яка співпадає з ниткою виска (мал. 24.3). Висок легко виготовити, підвісивши на нитці гайку.

Площину, перпендикулярну до вертикалі, називають **горизонтальною**. Горизонтальність поверхні перевіряють за допомогою рівня, приладу, який містить дещо вигнуту догори трубку з водою, в якій знаходиться бульбашка повітря. Поверхня води в не надто великому водіймищі також горизонтальна.



Мал. 24.3.

а) Горизонтальність поверхні перевіряють рівнем. б) Нитка виска визначає вертикаль.

Вільне падіння

В природі можна спостерігати рух, який відбувається із сталим за величиною прискоренням – це рух тіла, коли ніякі інші сили, крім тяжіння Землі, на нього не діють. Такий рух називають вільним падінням і його можна реалізувати, наприклад, у вакуумі. Рух парашутистів в затяжному стрибку тільки нагадує вільне падіння (мал. 24.4).

Якщо тіло вільно падає, тобто рухається тільки під дією сили тяжіння (наприклад, у вертикальній трубці, з якої викачане повітря), його швидкість рівномірно зростає на $9,8 \text{ м/с}$ за кожну секунду (прискорення становить $9,8 \text{ м/с}^2$). Прискорення вільного падіння позначають літерою « g ». Якщо тіло підкинути вгору, то його швидкість зменшуватиметься на $9,8 \text{ м/с}$ за кожну секунду (тобто, його прискорення – $9,8 \text{ м/с}^2$).

На мал. 24.5 зображено дослід з трубкою Ньютона. При наявності повітря в трубці, дробинка випереджає пір'їнку, через опір повітря. Якщо викачати з трубки повітря, то пір'їнка і дробинка падають однаково (випадок «а» та «б»). Поряд (випадок «в»), фотографія демонстраційного приладу, за допомогою якого цей дослід можна показати. Дивовижним



Мал. 24.4.

Під дією сили тяжіння швидкість парашутистів збільшується



Мал. 24.5.

Трубка Ньютона

в цьому досліді є те, що тіла різної маси падають у вакуумі з однаковим прискоренням.

Приклад 24.1

Камінчик випустили з рук на висоті 25 м. а) Якою буде його швидкість через 1 с та 2 с? б) Яку відстань камінчик пролетить за першу секунду і за дві секунди? Вважайте, що камінчик вільно падає з прискоренням $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Розв'язання. а) Оскільки швидкість тіла при русі вниз зростає на 10 м/с кожної секунди, то в кінці першої секунди швидкість камінчика буде 10 м/с, а через дві секунди становитиме 20 м/с. б) Оскільки швидкість камінчика за першу секунду падіння рівномірно зростає до 10 м/с, то його середня швидкість дорівнює середньому арифметичному від початкової і кінцевої швидкості, тобто 5 м/с. Отже пройдена ним відстань за першу секунду дорівнює 5 м.

Аналогічно, за дві секунди середня швидкість становить 10 м/с і пройдена відстань дорівнює 20 м.

Приклад 24.2

Стріла, при вистрелі з лука вертикально вгору, вилітає зі швидкістю 30 м/с. Якими будуть швидкість стріли (v) та її висота (h) через 1, 2, 3 ... 6 с? Вважайте, що стріла рухається з постійним за величиною прискоренням $g = -10 \text{ м/с}^2$.

Розв'язання. В даному випадку прискорення стріли від'ємне, тобто її швидкість кожної секунди зменшується на 10 м/с. Через секунду швидкість стане 20 м/с, через дві секунди 10 м/с, і так далі. Зручно буде записати результати розрахунків в таблицю:

$t, \text{ с}$	0	1	2	3	4	5	6
$v, \text{ м/с}$	30	20	10	0	-10		
$h, \text{ м}$	0	25	40				

Через три секунди швидкість стріли дорівнює нулю, тобто вона досягла найвищої точки своєї траєкторії і далі падатиме вниз. Через чотири секунди швидкість стріли становить -10 м/с, знак «-» показує, що стріла змінила напрям руху. Середня швидкість стріли за першу секунду дорівнює: $(30 + 20)/2 = 25 \text{ м/с}$, отже вона досягне висоти $25 \text{ м/с} \cdot 1 \text{ с} = 25 \text{ м}$.

Завдання. Решту клітинок таблиці заповніть самостійно.

Сила тяжіння і маса

Оскільки при вільному падінні сила тяжіння надає тілу прискорення g , то згідно з формулою 23.1 другого закону Ньютона можна записати, що:

$$F_{\text{тяж}} = mg. \quad (24.1)$$

Отже, знаючи масу тіла, за формулою (24.1) можна обчислити силу тяжіння, яка на нього діє.

Приклад 24.3

Якщо ваша вага дорівнює 50 кг, то сила тяжіння, яка діє на вас, становить $F_{\text{тяж}} = 50 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 = 490 \text{ Н}$. У випадку, коли опора, на якій ви стоїте, горизонтальна і не рухається з прискоренням, ваша вага P також становитиме 490 Н ($P = 490 \text{ Н}$).

Потрібно тільки пам'ятати, що вага – це сила, яка діє на опору або підвіс, а сила тяжіння діє на тіло.

Якщо потрібно за даною масою тіла знайти силу тяжіння, яка діє на це тіло, то пишуть:

$F_{\text{тяж}} = m \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$. В такому випадку g використовують як коефіцієнт пропорційності для переходу від одиниць маси до одиниць сили. Але якщо хочуть підкреслити, що сила тяжіння надає вільно падаючому тілу прискорення $9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, то пишуть

$10 \frac{F_{\text{тяж}}}{\text{кг}} = m \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. При не дуже точних розрахунках g заокруглюють до

Приклад 24.4

З якою силою діє на підставку тіло масою 1 кг?

Розв'язання: за формулою $F_{\text{тяж}} = mg$, $F_{\text{тяж}} = 1 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 9,8 \text{ Н}$.

Отже $P = F_{\text{тяж}} \approx 10 \text{ Н}$.

Цікаво знати. Якщо людину масою, скажімо, 60 кг запитати, скільки вона важить, то відповідь скоріш за все буде: 60 кг, хоча правильно було б сказати: приблизно 600 Н. Така плутаниця виникає через те, що колись масу і вагу вимірювали в однакових одиницях – кілограмах.

Невагомність

Коли тілу 1 і підставці 2 (мал. 24.1) надати можливість разом вільно падати, то деформації, викликані взаємодією цих тіл, зникають, тобто сили F_N і N стають рівними нулю. Такий стан називають **невагомністю**.



Мал. 24.6.
Вага тим більша,
чим більша маса
тіла



Мал. 24.7.
Майбутні
космічні станції
обертатимуться

ка», який обертатиметься і всередині якого буде створена штучна вага (мал. 24.7).

Цікаво знати. Вагу можна штучно збільшити, як це робиться в центрифугі пральної машини. В наукових лабораторіях використовують ультрацентрифуги (мал. 24.8), де вага предметів може зростати в півмільйона разів проти нормальної, яка за числовим значенням завжди дорівнює mg .



Тема для дослідження

24.1. Поясніть механізм «витискання» води з мокрої білизни в центрифугі пральної машини.

Підведемо підсумки

- Сила, з якою тіло діє на горизонтальну опору або вертикально розташований підвіс, називають вагою.
- Сила тяжіння, яка діє на тіло з боку Землі пропорційна масі тіла і розраховується за формулою $F_{\text{тяж}} = mg$.
- В системі відліку, яка не прискорюється, вага тіла: $P = mg$. При вільному падінні тіл настає невагомість.
- Тіло, що знаходиться в стані вільного падіння, рухається біля поверхні Землі з прискоренням: а) $+9,8 \text{ м/с}^2$, коли летить вниз та б) $-9,8 \text{ м/с}^2$, коли летить вгору.



Вправа 24

1. Як залежить сила, з якою Земля притягує предмети, від їх маси?
2. Якими є сила тяжіння і сила реакції опори у випадку рівноваги тіла на горизонтальній поверхні?
3. Що називають вагою тіла?

Невагомість настає тому, що підставка і тіло падають з однаковим прискоренням, незалежно від того, яка в них маса.

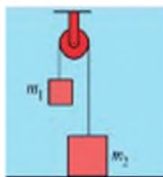
Невагомість однаково настає при вільному падінні вниз, чи вільному падінні вгору. Тобто, якщо підкинути тіло, то його вага дорівнює нулю як на стадії підйому, так і при спуску.

Коли космічний корабель виходить на навколосезну орбіту і виключає двигуни, настає невагомість. Цей стан досить погано переноситься людиною, і в майбутньому планують робити космічні станції у вигляді «бублика»



Мал. 24.8.
Вага тіла в ультрацентрифугі може перевищити нормальну в 500 000 разів

4. Який рух називають вільним падінням?
5. Як змінюється швидкість тіл, які вільно падають?
6. Назвіть дві особливості вільного падіння.
7. За яких умов настає невагомість?
8. Чи впливає повітря на рух тіл, що падають?
9. Чому деформується тіло, що стоїть на нерухомій підставці?
10. В якому випадку шафа не провалюється скрізь підлогу?
11. Коробку, в якій знаходиться жук, підняли вгору. З якого моменту жук стане невагомим?
- 12*. Чи можна зважити тіло на терезах в кабіні космічної станції?
13. Порівняйте сили N і $F_{\text{тяг}}$ (котра з них більша), які діють на людину в ліфті для наступних випадків: а) ліфт не рухається; б) ліфт рівномірно рухається вгору.
14. Яка вага тіла, маса якого 100 кг? g можна заокруглити до 10 Н/кг; $g = 10$ Н/кг.
15. Знаючи власну масу, обчисліть свою вагу.
16. На залізничну платформу з боку вантажу діє сила 20 000 Н. Яка маса вантажу? $g = 10$ Н/кг.
17. Тіло масою $m = 2$ кг, вільно падає біля поверхні Землі. а) Чому рівна сила тяжіння, що діє на тіло? б) Яка вага тіла? $g = 10$ Н/кг.
- 18*. До шнура, перекинутого через нерухомий блок, прикріплено тіла масою $m_1 = 3$ кг і $m_2 = 5$ кг (мал. 24.9). а) З якою силою діє тіло масою 3 кг на шнур? б) З якою силою діє тіло масою 5 кг на шнур? в) З якою силою діє тіло масою 5 кг на підлогу? г) Яка вага тіла масою 5 кг? $g = 10$ Н/кг.



Мал. 24.9.
Яка вага тязарів?

19*. Яку відстань проходить камінець в прикладі 24.1 за другу секунду свого падіння? Спробуйте написати формули, за якими зроблено розрахунки швидкості та пройденої відстані.

20*. В прикладі 24.2 визначте: а) якими будуть швидкість стріли через 5 і 6 с і висота, відповідно, через 3, 4, 5 і 6 с? б) Які закономірності ви помітили, повністю заповнивши таблицю? в) В цій задачі ми робили розрахунки усно і скористалися записом у таблицю. Спробуйте написати формули, за якими зроблено ці розрахунки.

§ 25. СИЛИ ТЕРТЯ. КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ КОВЗАННЯ

Тертя в природі й техніці

Явище тертя відіграє важливу роль в нашому повсякденному житті, в природі і техніці. Зверніть увагу, як важко іти чи їхати на автомобілі в ожеледцю, тобто коли сила тертя незначна. Якби зникло тертя, ми не могли б всідати на стільці, а цяхи не трималися б в стіні. Збільшення сили тертя буває життєво необхідним (мал. 25.1).

Так само важливо в багатьох випадках зменши-



Мал. 25.1.
Надійність гальмування залежить від сили тертя

ти тертя. Кулькові підшипники зменшують тертя в осях багатьох деталей машин та механізмів (мал. 25.2). А як здорово ковзають лижі й ковзани!



Дослід 25.1

Покладемо на книгу, що лежить на столі, коробку сірників. Почнемо піднімати один кінець книги, збільшуючи кут нахилу (мал. 25.1). До деякого часу коробка буде нерухомою, але при певному куті нахилу вона почне зісковзувати вниз.

Приведений дослід викликає принаймні два запитання: а) чому коробка не ковзає при малих кутах та б) чому коробка при більших кутах починає ковзати?

Одна з причин виникнення сили тертя – це шершавість обох поверхонь, що стикаються (мал. 25.3). Маленькі нерівності, які зумовлюють шершавість поверхонь, зачіпляються одна за одну при русі тіла чи при спробі зрушити його з місця.

Тертя ковзання

Тертя, що виникає при ковзанні тіла, називають тертям ковзання. Нескладні досліди, показують, що **сила тертя ковзання $F_{\text{тп}}$ прямо пропорційна величині сили реакції опори N** . Вектор сили тертя ковзання напрямлений паралельно площині дотику в бік, протилежний до напрямку руху.

$$F_{\text{тп}} = \mu \cdot N, \quad (25.1)$$

де μ (мю) – коефіцієнт пропорційності, який залежить від матеріалу поверхонь (табл. 25.1) і ступеня їх гладкості.

Коефіцієнт тертя ковзання μ можна визначити як відношення сили тертя ковзання до величини сили реакції опори:

$$\mu = \frac{F_{\text{тп}}}{N}. \quad (25.2)$$

Величина коефіцієнту тертя залежить від матеріалу ковзаючих поверхонь і рельєфу поверхні. Коефіцієнт тертя є безрозмірною величиною.

Сила тертя ковзання дуже слабо залежить від площі дотику ковзаючих поверхонь тіл і швидкості руху.

Коли тіло рухається по горизонтальній поверхні, сила реакції опори чисельно дорівнює силі тяжіння $F_{\text{тяж}}$ і вазі тіла P . В такому випадку можна записати формулу для розрахунку сили тертя ковзання так:

$$F_{\text{тп}} = \mu \cdot P = \mu \cdot mg \quad (25.3)$$



Мал. 25.2.
Кульковий підшипник



Мал. 25.3.
Сила тертя спокою не дає коробці зісковзнути



Мал. 25.4.
Одна з причин тертя – нерівності поверхонь

Таблиця 25.1.

Коефіцієнти тертя

Матеріали	
Дерево по дереву	0,25
Сталь по сталі	0,20
Гума по бетону	0,75
Сталь по льоду	0,05
Сталь по сталі, змащені мастилом	0,05

Тертя спокою

Коли деяка паралельна до поверхні сила тяги F безрезультатно намагається зрушити тіло з місця (мал. 25.6), то зрозуміло, що ця сила зрівноважена якоюсь іншою силою, яка за величиною точно дорівнює прикладеній силі і протилежна їй за напрямком. Цю силу називають **силою тертя спокою**.

Тертя спокою – це та сила, яка примушує автомобіль рухатися і повертати. Завдяки цій силі ми ходимо. Сила, з якою шина ведучого колеса автомобіля в місці дотику з дорогою діє **на поверхню дороги, спрямована назад**. Ця сила викликає появу сили тертя спокою, що діє на колесо **вперед**, створюючи **силу тяги** автомобіля (мал. 25.7).

Подібне явище має місце і при ходьбі.

Тертя кочення

Тертя, яке діє на колесо, що котиться, називають тертям кочення. Воно значно менше від тертя ковзання, тому майже всі види наземного транспорту мають колеса, а всі механізми встановлені на кулькові підшипники. Тертя кочення тим менше, чим більший радіус колеса і чим твердіші поверхні колеса й дороги. Воно також пропорційне силі реакції поверхні та залежить від матеріалу обох поверхонь.



Дослід 25.2

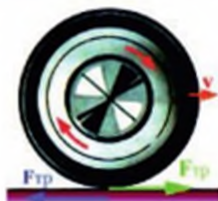
Покладіть круглий олівцевий на нахилену поверхню спочатку вздовж, а відтак упоперек неї (мал. 25.8). Переконайтеся, що скочуватись він починає при значно меншій куті, аніж ковзати.



Мал. 25.5.
Тертя ковзання



Мал. 25.6.
Сила тертя спокою дорівнює силі, яка намагається рухати тіло



Мал. 25.7.
Тертя спокою штовхає ведуче колесо



Тема для дослідження

25.1. Встановіть, як зміниться сила тертя ковзання, якщо поверхню покрити пилюкою або дрібним порошком (використайте пудру, настругану з крейди чи грифеля олівця). Спробуйте висловити певні гіпотези відносно причин впливу пилюки на величину сили тертя.



Мал. 25.8.
До досліду 25.2.

В'язке тертя



Мал. 25.9.
Сила в'язкого тертя виникає при русі в рідині чи газі

При русі в рідині або в газі виникає в'язке тертя, яке значно менше навіть за тертя кочення. Існують спеціальні транспортні засоби на "повітряній подушці", що "літають" над землею або поверхнею води. Прикладом можуть бути швидкісні паромі та деякі види військових десантних катерів. Проходять випробування поїзди на "магнітній подушці", які утримуються в повітрі силами магнітного поля (мал. 25.9). За своєю швидкістю вони наближаються до літаків. Важлива особливість, що суттєво вирізняє в'язке тертя, полягає в тому, що у нього а) немає тертя спокою, б) величина в'язкого тертя зростає зі збільшенням швидкості руху.

Деталі машин, що труться, змащують мастилами, щоб зменшити тертя в'язким і зменшити втрати енергії.

Підведемо підсумки

- Сила тертя ковзання прямо пропорційна величині сили реакції опори $F_{\text{тр}} = \mu \cdot N$.
- Вектор сили тертя ковзання направлений паралельно площині дотику в бік, протилежний до напрямку руху.
- Сила тертя спокою дорівнює і протилежна тій силі, яка не може зрушити тіло з місця.
- Тертя кочення набагато менше за тертя ковзання.
- В'язке тертя виникає при русі в рідині або газі. Не існує в'язкого тертя спокою.



Вправа 25

1. В яких випадках потрібно: а) збільшити, б) зменшити тертя?
2. Перелічіть відомі вам види тертя.
3. Чому в машинах так широко використовують кулькові підшипники?
4. Чому мастильні матеріали значно зменшують тертя?
5. Від чого залежить величина коефіцієнту тертя ковзання?
6. Як залежить сила тертя ковзання від ваги тіла?

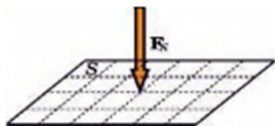
7. Чому ковзанярі й велосипедисти вдягають костюми з дуже «гладкої» тканини?
8. Чому риби «слизькі»?
9. В яких випадках сила тертя співпадає з напрямом швидкості?
10. Чому колеса автомобіля пробуксовують, коли він рушає з місця під час ожеледиці?
11. В яких межах може змінюватися сила тертя спокою?
12. Чому на слизькій дорозі небезпечно робити різкий поворот на автомобілі?
13. Чому колеса залізничних вагонів чавунні, а рейки – сталеві?
14. Чому у всюдиходів і колісних тракторів великі колеса?
15. На столику у вагоні поїзда лежать книга та яблуко. Чому, коли поїзд рушив з місця, книга залишилася нерухомою, а яблуко покотилося назад?
16. Чому людина не може зрушити з місця залізничний вагон, але зрушить човен такої ж маси?
17. У скільки разів зменшиться сила тертя між сталевими деталями після змащування мастилом?
18. Яку силу потрібно прикласти до санок масою 80 кг, щоб зрушити їх з місця на льодяній поверхні? $g = 10 \text{ Н/кг}$
19. Яка сила тертя виникне, якщо 10-ти тонна вантажівка різко загальмує?
- 20*. Який різновид сили тертя (мал. 25.10) а) втримує на повороті спортсмена на роликових ковзанах? б) Завжди йому рухатися?
- 21*. Дерев'яний брусок масою 0,2 кг рівномірно тягнуть по горизонтальній дерев'яній поверхні за допомогою динамометра. Знайдіть видовження пружини (в см), коефіцієнт жорсткості якої 100 Н/м. $g = 10 \text{ Н/кг}$.



Мал. 23.10.
До задачі 13

§ 26. ТИСК ТВЕРДИХ ТІЛ НА ПОВЕРХНЮ. СИЛА ТИСКУ

Про атмосферний тиск часто повідомляють синоптики у прогнозах погоди, артеріальний тиск вимірює лікар. У фізиці тиском називають фізичну величину, яка чисельно дорівнює силі тиску на одиницю площі поверхні (мал.26.1). Тиск позначають літерою «р» (від англ. *pressure* – тиск).



Мал. 26.1.
Тиск чисельно дорівнює силі, яка діє на одиницю площі

Обчислення тиску

Щоб обчислити тиск, потрібно перпендикулярну до поверхні величину сили тиску F_N , розділити на площу цієї поверхні S :

$$p = \frac{F_N}{S}. \quad (19.1)$$

На відміну від сили, тиск – скаляр. В СІ, де силу вимірюють у Н (ньютон), а площу – в м², тиск вимірюється у $\frac{H}{m^2}$.

Сила тиску величиною в 1 Н, яка діє на площу в 1 м², створює тиск величиною в 1 паскаль, тобто Па = Н/м². Одиниця тиску названа на честь французького фізика і математика, винахідника першої механічної обчислювальної машини, гідравлічного преса та медичного шприца, філософа і письменника Блеза Паскаля.

Один паскаль – дуже маленький тиск (порівняємо з нормальним атмосферним тиском 760 мм рт. ст., який становить 101 325 Па, або приблизно 100 000 Па = 105 Па).

В техніці часто застосовують більш зручну одиницю тиску: **одна фізична атмосфера** (атм), 1 атм = 101 325 Па точно, або $\approx 100\,000$ Па. Наприклад, тиск у камері автомобільного колеса становить приблизно 2 атм.

Від чого залежить тиск



Мал. 26.2.

Тонке жало бджоли
протинає шкіру

Якщо йти пішки по глибокому снігу, то ноги провалюються, а якщо на лижах – то ні. Сила тиску на сніг одна й та сама – у чому ж різниця? А в тому, що тиск, який створюють на сніг лижі, набагато менший, оскільки площа в них значно більша за площу підшов. Отже, така величина, як тиск, у даному випадку краще пояснює явище, ніж сила тиску.

Збільшити тиск, як видно із формули (26.1), можна: або збільшуючи силу тиску, або зменшуючи площу поверхні, на яку діє сила. Наприклад, бджола (мал. 26.2) при укусі створює великий тиск, оскільки площа жала дуже маленька. Трактор (мал. 26.4) або навіть танк тиснуть на поверхню слабше, ніж ми при ходьбі через велику площу гусениці.

Приклад 26.1

Порівняємо тиск, який створюють дівочий каблучок і нога слона (мал. 26.5).

$g = 10 \text{ Н/кг}$	Дівчина	Слон
Маса (m)	50 кг	4 000 кг
Сила тяжіння (mg)	500 Н	40 000 Н
Сила тиску (F_N)	500 Н	40 000 Н
Площа опори (S)	2 см ²	1 000 см ²
Тиск ($p = F_N/S$)	250 Н/см ²	40 Н/см ²

Маси дівчини і слона та площі каблучка і ступні ноги слона взяті приблизно (як це роблять в оціночних задачах).

Приклад 26.2

Нехай гострий кінець голки має лінійні розміри 0,1 мм (не дуже гостра голка). Тоді площа вістря становитиме приблизно 0,01 мм². Якщо голку придавити гирєю 10 кг, то тиск, з яким вона давить на стіл, буде в 100 000 разів більший за атмосферний. Під таким тиском і при температурі 2 300°C у 1955 році вперше отримали штучні алмази.

Цікаво знати. Дуже великий тиск: 400 000 атм., за допомогою гідравлічного преса вперше отримав американський інженер Бриджмен. Надсильні тиски на великих площах отримують за допомогою вибуху. Під час вибуху атомної бомби створюється тиск 10 000 мільярдів атм.



Мал. 26.3.

Трактор чинить менший тиск, ніж нога людини



Мал. 26.4.

Хто «слабший»?
До прикладу 26.1.

Експериментальна задача 26.1



Мал. 26.5.

Спосіб приблизного обчислення площі підшви

Оцініть ваш тиск на підлогу. Нагадаємо, що площу підшви, отримавши її відбиток на аркуші паперу в клітинку, можна підрахувати способом, вказаним на мал. 26.5. Для цього потрібно до числа цілих клітинок додати половину числа нецілих клітинок і отримане число помножити на площу однієї клітинки. Сторона клітинки становить 0,5 см.

Підведемо підсумки

- Тиск чисельно дорівнює силі тиску на одиницю площі поверхні.
- Тиск дорівнює відношенню величини сили тиску до площі поверхні: $p = \frac{F_N}{S}$.
- **Нормальний атмосферний тиск** становить 760 мм рт. ст., який дорівнює 101 325 Па, тобто приблизно $100\,000\text{ Па} = 10^5\text{ Па}$.
- **Одна фізична атмосфера** (атм): 1 атм = 101 325 Па точно.

**Вправа 26**

1. Як обчислюють тиск?
2. Яка одиниця вимірювання тиску в СІ?
3. В якому напрямі діє сила тиску?
4. Чому ліки менше провалюються в сніг?
5. Наведіть приклади, коли тиск краще пояснює явище, ніж сила тиску.
6. Чому площу фундаменту для будівлі намагаються зробити якомога більшою?
7. Як можна швидко змінити свій тиск на поверхню?
8. Для чого ножі, голки і цвяхи роблять гострими?
9. Яким чином маленькому комарові вдається проколоти шкіру людини?
10. Як можна визначити площу поверхні неправильної форми?
11. Чому перед поїздкою по м'якій ґрунтовій дорозі водій всадихода зменшує тиск у шинах автомобіля?
12. Як потрібно розташувати на столі сірникову коробку, щоб створити а) найменший, б) найбільший тиск? Зробіть малюнок.
13. Розрахуйте тиск (в Па), який створює на дорогу одне колесо чотириколісного вантажного автомобіля масою 8 тонн. Площа дотику колеса з дорогою 400 см^2 . $g = 10 \text{ Н/кг}$.
14. Який тиск чинить учень, маса якого 60 кг на підлогу? Загальна площа підшов взутого учня дорівнює 300 см^2 . Врахуйте, що $g = 10 \text{ Н/кг}$.
15. На яку площу повинна діяти сила 600 Н , щоб створити тиск $2\,400 \text{ Па}$?
16. Площа гострого кінця голки дорівнює $0,01 \text{ мм}^2$. Який тиск створює голка під час шиття, якщо на неї діє сила 5 Н ?
17. У скільки разів збільшиться а) сила тиску та б) тиск суцільного кубика на підставку, якщо його лінійні розміри збільшити у два рази, не змінюючи густину кубика?

§ 27. ТИСК РІДИН І ГАЗІВ. СПОЛУЧЕНІ ПОСУДИНИ

Закон Паскаля

Сила тиску в рідинах і газах діє в усіх напрямках. Це можна продемонструвати на простому досліді (мал. 27.1). Потрібно міцно насадити на шприц м'ячик від настільного тенісу і зробити в ньому голкою ряд симетрично розташованих отворів. Потім наповнити циліндр шприца і м'ячик водою. Якщо натиснути на поршень вгору, то вода бризне з отворів в усі боки.

Пояснимо детальніше: спочатку тиск зростає біля поршня, потім тиск зростає і в усіх інших точках води. Сила тиску біля отворів направлена перпендикулярно до поверхні м'ячика, а її величина пропорційна тискові:

$$F_N = p \cdot S. \quad (27.1)$$



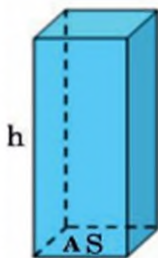
Мал. 27.1.
Сила тиску діє в усіх напрямках

Закон Паскаля: тиск у рідинах і газах передається в усі точки і в усіх напрямках однаково.

Тиск рідини

Обчислимо тиск у деякій точці А, що знаходиться на глибині h у рідині, густина якої ρ . Подумки виділимо прямокутний стовп рідини висотою h , який опирається на поверхню площею S (мал. 27.2). Об'єм виділеної геометричної фігури можна обчислити за формулою $V = S \cdot h$. Сила тиску стовпа рідини F_N дорівнює силі тяжіння, яка діє на всю масу m рідини виділеного об'єму і може бути обчислена як mg . Масу рідини обчислимо за формулою $m = \rho \cdot V$. Тоді сила тиску виділеного стовпа рідини становитиме: $F_N = \rho \cdot S \cdot h \cdot g$. Тиск рідини на глибині h згідно формули (26.1) становитиме:

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad (27.2)$$



Мал. 27.2.

Ця формула гідростатичного тиску (гідро-, лат. вода, статікос, грецьке - нерухолий). Щоб отримати за цією формулою тиск у паскалях (тобто в Н/м^2) треба густину виразити в кг/м^3 , а глибину – в метрах.

Приклад 27.1

Знайдіть тиск стовпа води висотою 10 м. Прийнемо $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Дано:

$$h = 10 \text{ м}$$

$$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$g = 10 \text{ Н/кг}$$

$$p = ?$$

Розв'язання: Згідно формули $p = \rho \cdot g \cdot h$,

$$p = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 10 \text{ м}.$$

$$\text{Остаточно: } p = 100000 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 100\,000 \text{ Па}.$$

Відповідь: тиск стовпа води висотою 10 м становить приблизно 100 000 Па.

Гідростатичний парадокс

Зверніть увагу, що тиск, який створюється стовпом рідини, залежить тільки від густини рідини і висоти стовпа і не залежить від площі, яка скорочується при математичних перетвореннях. Цей результат на перший погляд здається несподіваним, тому його називають гідростатичним парадоксом (парадокс – твердження, яке здається неправильним чи неможливим).

Тиск рідини не залежить від форми посудини, в якій вона знаходиться, а тільки від висоти стовпа рідини та її густини. Це твердження

**Мал. 27.3.**

Рівень рідини в сполучених посудинах однаковий.

можна продемонструвати за допомогою сполучених посудин – приладу, що складається із трубок різної форми і перетину, з'єднаних між собою і розміщених у вертикальній площині (мал. 27.3). Якщо рідина нерухома (статична), то вона в усіх посудинах встановлюється на однаковому горизонтальному рівні. Система водопроводу або чайник – приклади сполучених посудин.

Таблиця 27.1.

Густина деяких рідин

Рідина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Вода	1000	1,00
Олія, машинне масло	900	0,90
Спирт	800	0,80
Ртуть	13 600	13,60
Рідке повітря (при -194°C)	860	0,86



З історії науки. Паскаль свого часу вразив своїх співгромадян наступним привселюдно проведеним дослідом (мал. 27.4). Учений заявив, що порушить герметичність найміцнішої бочки одним кухлем води. Бочка повинна була мати герметичну кришку з латунною вставкою, в якій зроблено отвір із нарізаною різьбою певного діаметру і наповненою щерть водою перед початком дослідів. Цех бондарів (так називають виробників бочок) прийняв виклик. У визначений день, найвищої якості бочка була наповнена водою, і в неї вкрутили трубу висотою декілька метрів. Внутрішній діаметр труби був такий, що туди міг вміститися якраз один кухоль води. На другому поверсі будівлі, поблизу якої проводився дослід, у трубку вставили ліжку і влили всю воду, що була в кухлі. На подив присутніх, бочка тріснула по швах і з неї бризнула вода!

**Мал. 27.4.**

Дослід Паскаля.

Приклад 27.2

Давайте вивисимо, що сталося в досліді з бочкою. Припустимо, що вона мала форму циліндра (для спрощення розрахунків) висотою $H = 1$ м і діаметром трохи меншим за 70 см (для того, щоб довжина периметра кришки становила приблизно 2 м ($L = \pi d$)). При висоті трубки 3,5 м тиск стовпа води в центрі бочки (додаємо ще 0,5 м) дорівнював:

$$p = \rho \cdot g \cdot h = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 4 \text{ м} \approx 40000 \text{ Па}.$$

Біля дна тиск трохи більший, біля кришки – менший, середня сила тиску, яка діє на бокову поверхню бочки (площа якої дорівнює) становитиме: $F_N = p \cdot S = 40\,000 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot 2 \text{ м}^2 = 80\,000 \text{ Н}$.

З такою силою буде діяти на опору вантаж масою приблизно 8 000 кг, тобто 8 тонн! Дію такої значної сили ні одна дерев'яна бочка не витримає.



Тема для дослідження

27.1. Як можна контролювати горизонтальність заливки фундаменту дачного будинку? Через велику довжину фундаменту звичайний рівень не годиться, зате можна скористатися довгим гумовим шлангом і двома скляними трубками (мал. 27.5).



Мал. 27.5.

Шланг і дві трубки.

Глибинні апарати



Історія науки. Уперше значні глибинні занурення здійснив швейцарський фізик та інженер Огюст Пікар. Ще з дитинства він захоплювався книжками про морські подорожі. Батискаф, побудований Пікаром, опустився в 1948 році на глибину 1 400 м, витримавши величезний тиск води. 1953 року батискаф “Трієст” досягнув глибини 3 150 м. У 1957 році радянський апарат “Витязь” опустився на глибину 10 022 м. У 1960 році “Трієст”, у якому знаходився син Огюста Пікара Жак, опустився в Маріанську впадину в Тихому океані на глибину 10 916 м. Апарати Пікара були автономними і не потребували троса, який би зв'язував їх із кораблем. Справа в тому, що трос такої довжини не може витримати навіть власної ваги. Будівництво глибинних апаратів вимагає розв'язання дуже складних інженерно-технічних проблем, актуальних і в наш час.



Мал. 27.6.

Батискаф – апарат для глибинних занурень

Підводимо підсумки

- Тиск в рідинах і газах передається в усі точки і в усіх напрямках однаково (закон Паскаля).
- Тиск рідини обчислюється за формулою: $p = \rho \cdot g \cdot h$ і не залежить від форми посудини.
- Тиск рідини не залежить від форми посудини (гідростатичний парадокс).



Вправа 27

1. Як передається тиск в рідинах і газах?
2. За якою формулою розраховується гідростатичний тиск?

3. Від чого залежить тиск стовпа рідини?
4. Як встановлюється рівня в сполучених посудинах?
5. В чому суть гідростатичного парадоксу?
6. Чому батискафи, що розраховані на глибоководне занурення, не можна опускати на тросі?
7. Чому в сполучених посудинах рідина встановлюється на однаковому рівні?
8. Чому резервуар із водою в системі водопроводу намагаються встановити яконайвище?
9. Який тиск діяв на батискаф Пікара на глибині 10,9 км?
10. Обчисліть тиск стовпа ртуті висотою 1 м.
11. У скільки разів зміниться тиск рідини на дно циліндричної посудини, якщо туди замість води налити: а) таку саму масу ртуті; б) такий самий об'єм ртуті?
12. Чому бокові стінки відра (мал. 27.7) розширюються до верху?
13. Акваріум, що має форму куба зі стороною 0,5 м, щерть заповнено водою. Розрахуйте: а) масу води в акваріумі; б) тиск води на дно; в) середню силу тиску на одну стінку.



Мал. 27.7.



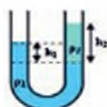
Мал. 27.8.

14. У каструлю, по вінця заповнену водою, опустили гірчу, яка не торкається дна. а) Чи зміниться тиск води на дно і стінки? б) Розгляньте випадок, коли каструля заповнена не повністю, і вода не виливається.



Мал. 27.9.

15. У U-подібній трубці спочатку знаходилася ртуть (мал. 27.8). У праву частину трубки доливають стовпчик води висотою 20 см. а) Чому рівень поверхні води у правій частині трубки виявився вищим, ніж рівень ртуті в лівій частині? б) Який перепад висот між рівнем поверхні води в правій частині трубки і рівнем ртуті в лівій частині?



Мал. 27.10.

16. Рідина повністю заповнює трубу висотою 2 м і внутрішнім діаметром 1 см. Якими будуть вага рідини і тиск на дно, якщо це: а) вода; б) ртуть; в) олія?
17. Порівняйте тиск рідини на дно посудин 1, 2 і 3 (мал. 27.9). Рідина скрізь однакова. Поясніть відповідь.

18*. Куля з гвинтівки, що летить горизонтально, пробиває в стакані два малих отвори. Чому, коли стакан повний води, попадання кулі розірве стакан на кілька кусків?

19*. На терезах зрівноважено склянку з водою. Чому якщо у воду занурити палець, не торкаючись стінок або дна склянки, то рівновага порушиться? Вода зі склянки не виливається.

20*. У відкриту U-подібну трубку (мал. 27.10) налито рідину густиною ρ_1 . Після того, що у праву частину трубки долили стовпчик рідини висотою h_2 і густиною ρ_2 , різниця рівнів рідини ρ_1 стала h_1 . а) Густина якої рідини більша? б) Обчисліть густину рідини ρ_2 , вважаючи відомими величини ρ_1 , h_1 і h_2 .

Блез Паскаль (Blaise Pascal 1623 - 1662) – французький математик, механік, фізик, філософ та письменник. Він сформулював закон передачі тиску, відомий нині як закон Паскаля, довів, що тиск рідини на дно посудини не залежить від форми посудини, а залежить тільки від рівня рідини.



Паскаль створив першу механічну обчислювальну машину (одна з поширених мов програмування Pascal названа в його честь саме з цієї причини). Було виготовлено біля 50 екземплярів такої машини, навіть налагоджене їх серійне виробництво.

Паскаль винайшов гідравлічний прес, медичний шприц, запропонував ідею регулярного міського транспорту, що курсує вулицями міст по встановлених маршрутах.

Паскаль вивчав проблеми вакууму та рівноваги рідин, визначив густину повітря, повторив та вдосконалив досліди з ртутним барометром, встановив, що атмосферний тиск залежить від висоти. Біля свого будинку Паскаль встановив водяний барометр, який дозволяв всім бажаним спостерігати за зміною атмосферного тиску.

§ 28. АТМОСФЕРНИЙ ТИСК. ДОСЛІД ТОРРІЧЕЛЛІ

Атмосфера

Ми знаходимося на дні повітряного океану, який називається атмосферою (мал. 28.1), і над нами – приблизно стокілометровий шар повітря. Стоп повітря створює тиск завдяки тому, що повітря притягується до Землі. Для розрахунку цього тиску формулу $p = \rho \cdot g \cdot h$ можна застосувати тільки наближено для не надто великих h , оскільки повітря легко стискається.

Існує просте наближене правило: біля поверхні Землі тиск зменшується на 1 мм рт. ст. при підніманні вгору на кожен 12 метрів.

Ми не помічаємо тиску атмосфери тільки тому, що повітря всередині наших легенів має такий самий тиск, отож сили тиску ззовні та всередині врівноважують одна одну.

Зовсім інша справа, коли ви пірнули глибоко у воду. Тиск води настільки великий, що вашу грудну клітку адавить сила, яка не дасть вам вдихнути, навіть якщо у



Мал. 28.1.

Повітряна оболонка
Землі – атмосфера



Мал. 28.2.

Акваалангіст дихав стиснутим повітрям

вас є акваланг. Тому аквалангіст дихає стисненим повітрям, тиск якого треба регулювати так, щоб він дорівнював зовнішньому тиску води на тіло (мал. 28.2).



Дослід 28.1

Візьміть порожню упаковку від соку і ротом «відкачайте» з неї повітря (мал. 28.3). У певний момент вона «зімнеться». Тиск у середині зменшиться, отож зовнішній атмосферний тиск деформує не дуже міцний картон.



Мал. 28.3.
Сила атмосферного тиску змінює форму коробки.

Дослід Торрічеллі



Мал. 28.4.

Повітря здається невагомим і тому дослід італійського фізика і математика Еванджеліста Торрічеллі (учня Галілея) вразив сучасників. Він заповнив запаяну з одного кінця скляну трубку довжиною близько метра ртуттю. Потім закрив отвір пальцем і, перевернувши трубку, помістив відкритий кінець на певну глибину в чашку із ртуттю, притримуючи трубку у вертикальному положенні. Після того, як він відкрив отвір, частина ртуті вилітала, але стовп ртуті висотою приблизно 76 см все одно залишився в трубці (мал. 28.4).

У просторі над стовпчиком ртуті нічого не залишилося, там був вакуум або, як це тоді називали, торрічеллієва пустота. Торрічеллі здогадався, що стовп ртуті утримується силою тиску атмосфери. Отже, стовп ртуті висотою 76 см зрівноважує, ніби на шальці терезів, вагу стовпа повітря висотою в сто кілометрів.



Дослід 28.2

Наберіть повну скляну пляшку води. Закрийте отвір пальцем, переверніть пляшку і занурте горловину в чашку з водою, притримуючи пляшку іншою рукою. Потім палець заберіть. Вода не виллється зовсім, хоча ви точно повторили дослід Торрічеллі.

Порівняйте густини води та ртуті і спробуйте оцінити, якої довжини повинна бути трубка, щоб дослід Торрічеллі можна було повторити з водою.



Дослід 28.3

Занурте скляну трубку частково у воду і закрийте верхній отвір пальцем. Потім вийміть трубку з води (мал. 28.5). Чому вода не виллється із трубки? Порівняйте тиск повітря в трубці з атмосферним тиском. Відпустіть палець. Чому тепер вода виллється?



Мал. 28.5.
До дослідів 29.3.

Магдебурзькі пікульі

Щоб продемонструвати землякам силу атмосферного тиску, бургомістр міста Магдебург Отто фон Геріке провів ефектний дослід (мал. 28.6). Це було в 1654 році в присутності імператора Фердинанда III. На замовлення Геріке були виготовлені дві добре припасованих одна до одної мідних пікульі, з яких можна було скласти герметичну кулю діаметром 14 дюймів (35,5 см). В одній із пікульі була трубка для відкачування повітря, а кожна з пікульі мала на вершині міцне кільце. Пікульі сумістили і викачали повітря із кулі, яка при цьому утворилася. Для цього використали вакуумний повітряний насос, винайдений тим самим Геріке. Тиск атмосфери настільки сильно стиснув пікульі, що дві упряжки по вісім коней у кожній не змогли їх розірвати!



Мал. 28.6.
Дослід з магдебурзькими пікульями.

Ртутний барометр

Прикріпивши поряд з трубкою лінійку (мал. 28.7), Торрічеллі помітив, що рівень ртуті щоденно змінюється. Отже, змінюється тиск атмосфери. Фактично, Торрічеллі виготовив перший прилад для вимірювання атмосферного тиску – **ртутний барометр**. Сьогодні прогноз погоди не обходиться без повідомлення про величину атмосферного тиску, значне зменшення якого може бути передвісником сильного вітру чи навіть урагану. Паскаль повторив дослід Торрічеллі і встановив, що атмосферний тиск зменшується із висотою. Поблизу свого будинку він змонтував **водяний барометр** із трубою, висота якої сягала майже 11 м. Вода була підфарбована червоним вином за для зручності спостережень за зміною рівня.

Оскільки пара ртуті отруйна, ртутний барометр потребує особливо обережного поводження з ним; крім того, він громіздкий. Тому барометр Торрічеллі використовується тільки в лабораторіях. Величину атмосферного тиску традиційно вимірюють в міліметрах ртутного стовпа (мм. рт. ст.). Тиск атмосфери, при якому висота стовпчика ртуті в барометрі становить 760 мм, прийнято називати нормальним, пишуть: $p_0 = 760 \text{ мм. рт. ст}$ (або 760 мм. Нг). Щоб виважити, скільки «паскаль» становить нормальний **атмосферний тиск**, потрібно скористатися формулою гідростатичного тиску (27.2), підставивши туди густину ртуті та висоту ртутного стовпчика, виражену в метрах:

$$p = \rho \cdot g \cdot h = 13\,600 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 0,76 \text{ м} \approx 100\,000 \text{ Н/м}^2 = 100\,000 \text{ Па}$$



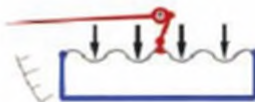
Мал. 28.7.

Барометр-анероїд

У побуті переважно користуються барометром-анероїдом ("анероїд" – означає "безрівдинний"). Цілком можливо, що він є і у вас вдома (мал. 28.8). Чутливим елементом у цьому барометрі є металева герметична коробочка, в якій тиск повітря дещо менший від атмосферного. Одна стінка кріпиться до корпусу, а інша через систему важелів і зубчастих коліс рухає стрілку приладу.

Чутливість анероїда досить велика – стрілка помітно зміщується, якщо його підняти чи опустити на кілька метрів. Можна проградувати шкалу анероїда безпосередньо в одиницях висоти і отримати висотомір – **альтиметр**. Такими приладами користуються пілоти та альпіністи.

Якщо до стрілки барометра прикріпити перо, яке торкається поверхні барабана, що обертається і на який натягнуто спеціальний папір у клітинку, то отримаємо барограф (мал. 28.9). Барабан обертається за допомогою годинникового механізму і робить один оберт за добу. Прилад дозволяє одержати графік зміни тиску з часом.



Мал. 28.8.
Барометр-анероїд.
Принцип дії.



Мал. 28.9.
Барограф.

Приклад 28.1

Обчисліть тиск стовпчика ртуті висотою 1 мм (тобто 0,001 м). Приймійте $g = 10 \text{ Н/кг}$.

Дано:

$$h = 1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}$$

$$\rho = 13\,600 \text{ кг/м}^3$$

$$g = 10 \text{ Н/кг}$$

$p = ?$

Розв'язання: Згідно формули $p = \rho \cdot g \cdot h$,

$$p = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,001 \text{ м} \approx 133 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

Відповідь: тиск стовпчика ртуті висотою 1 мм приблизно дорівнює 133 Па.

Приклад 28.2

Стовпчик ртутного барометра встановився на висоті H над рівнем ртуті в чашці (мал. 28.10). Який тиск в ртуті в точці А, що знаходиться на висоті h над рівнем ртуті в чашці?

Розв'язання: Очевидно, що тиск ртуті на рівні поверхні в чашці становить $\rho \cdot g \cdot H$. По мірі піднімання вгору висота стовпа ртуті зменшується, а, значить, зменшується і тиск. В точці А тиск стане меншим за тиск внизу на $\rho \cdot g \cdot h$. Отже, тиск ртуті в точці А становить: $p_A = \rho \cdot g \cdot H - \rho \cdot g \cdot h = \rho \cdot g \cdot (H - h)$.

Відповідь: тиск ртуті в точці А становить: .



Тема для дослідження

28.1. Спробуйте пояснити, чому в рідинах і газах тиск передається в усіх напрямках, а в твердих тілах – ні.



Мал. 28.10.

Підведемо підсумки

- Стовпчик ртуті в барометрі Торрічеллі втримується силою атмосферного тиску.
- Стовп атмосфери висотою 100 км тисне так само, як стовп ртуті висотою 760 мм.
- Нормальний атмосферний тиск становить $p_0 = 760$ мм. рт. ст., або приблизно 100 000 Па.
- Одна атмосфера (позасистемна одиниця вимірювання тиску, як і мм. рт. ст.): 1 атм = 101 325 Па (точно).



Вправа 28

1. Чому змінюється пластикова пляшка, якщо з неї відкачати повітря?
2. Чому мильна бульбашка має кулясту форму?
3. У чому переваги барометра-анеройда порівняно з ртутним барометром?
4. Що спільного і чим відрізняються барометр та альтиметр?
5. Для чого служить барограф?
6. Чи можна повторити дослід Торрічеллі з трубкою, довжина якої: а) менша за 1 м; б) більша за 1 м?
7. У яких випадках важливо знати величину атмосферного тиску або характер його зміни?
8. Чому в горах атмосферний тиск менший, ніж на рівні моря?
9. У ванній кімнаті часто прикріплюють до стіни різні предмети за допомогою пластикових присосок. За рахунок яких сил вони "прилипають" до поверхні?
10. Як можна за допомогою барометра виміряти висоту будинку?
11. Як зміниться атмосферний тиск при опусканні в глибоку шахту?
12. Чому при швидкому зниженні літака (чи автомобіля на гірській дорозі) виникають неприємні відчуття у вухах?
13. Чому в досліді 28.2. вода не виливається з пляшки?
14. Вирізати у Па тиск стовпчика: а) 10 см води; б) 1 см ртуті.
15. Біля підніжжя гори барометр показував 754 мм рт. ст., а на вершині – 724 мм рт. ст. а) Яка висота гори? б) Чому результат розрахунку наближений?

16. Що станеться, якщо у трубі ртутного барометра зробити отвір: а) нижче рівня поверхні ртуті; б) вище рівня поверхні ртуті?

17. Яку вагу ви повинні зрівноважити, утримуючи рукою пляшку в досліді 29.2.: самої пляшки чи пляшки разом із водою, що знаходиться в ній?

18. а) Розрахуйте висоту стовпа води у водяному барометрі, що його змайстрував Паскаль, при нормальному атмосферному тиску. б) Якої довжини трубу треба взяти для такого барометра?

19. Виразіть в Па одиницю вимірювання тиску «1 мм водяного стовпа».

20. Чому пляшка сильногазованої води така «тверда»?

21. Чому піняться «шипучі» напої, якщо різко відкрити пляшку?

22. На поршень площею 6 см^2 діє газ, що перебуває під тиском 10 атм. Яка сила діє на поршень?

23. Розрахуйте приблизне значення тиску в озері на глибині 10 м. $g = 10 \text{ Н / кг}$. (Підказка: відповідь 100 000 Па неправильна).

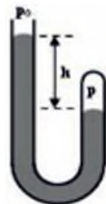
24*. Оцініть масу земної атмосфери, вважаючи відомими нормальний атмосферний тиск і радіус Землі. Площа поверхні кулі обчислюється за формулою $S = 4 \pi R^2$, радіус Землі становить 6 400 км.

25. Через який час після початку роботи компресорної станції зросте тиск у трубі газопроводу в місці, що знаходиться на віддалі 660 км від станції? Швидкість звуку в газі 330 м/с.

26. Виберіть найбільше значення тиску: 1) 750 мм рт.ст.; 2) 1 атм; 3) $1 \cdot 10^5$ Па.

27. Площа стелі в кімнаті 20 м^2 . Яка сила тиску і в якому напрямку діє на стелю, якщо тиск повітря 100 000 Па?

28*. В U-подібній скляній трубці, заповненій з правого боку, знаходиться ртуть (ρ). Визначте тиск повітря p в правій частині трубки (мал. 28.11). p_0 – атмосферний тиск.



Мал. 28.11.

29. У відкритій з одного кінця тонкій трубці знаходяться повітря, яке закрито стовпчиком ртуті довжиною $h = 4 \text{ см}$ (мал. 28.12).

Атмосферний тиск $p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.}$ Який тиск p (в мм. рт. ст.), у випадку, коли а) трубка горизонтальна, б) трубка розташована вертикально, відкритим кінцем догори, в) трубка розташована вертикально, відкритим кінцем донизу?



Мал. 28.12.



Отто фон Геріке (1602-1686). Народився в м. Магдебург. Німецький фізик, інженер і політичний діяч.

Вивчав природничі науки в університеті міста Лейпцигу, право в університеті міста Йена, математику та механіку в м. Лейден. З 1631 року служив інженером в армії шведського короля Густава II. З 1646 по 1681 рік обирався бургомістром міста Магдебург та членом магистрату міста Бранденбург.

У 1650 році Отто Геріке сконструював вакуумний насос. Досліди з вакуумом вразили сучасників, оскільки в ті часи вчені стверджу-

вали, що пустого місця в просторі в принципі не може існувати. Він виявив, що світло поширюється і в пустоті, а звук – ні. Дзвоник у вакуумі не дзвонив, тварини гинули, свічка гасла, риба роздувалась. Вияснилося, що кисень необхідний для дихання та горіння.

Коли Геріке відкачав насосом повітря із бляшаної коробки, вона була зім'ята атмосферним тиском. Геріке організував показ знаменитого досліду з «Магдебурзькими півкулями», демонструючи співвітчизникам тиск атмосфери, у який тоді також ніхто не вірив.

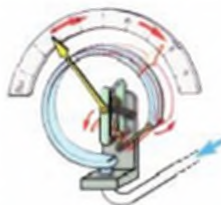
Отто фон Геріке винайшов електростатичну машину і вияснив, що сірка світиться при сильній електризації, тобто відкрив явище люмінесценції.

Геріке також вивчав астрономію і висловив гіпотезу, що комети прилітають до нас з околиць Сонячної системи. Це припущення пізніше підтвердили астрономи-професіонали.

§ 29. МАНОМЕТРИ. НАСОСИ. ГІДРАВЛІЧНИЙ ПРЕС

Металічний манометр

Манометром називають прилад, призначений для вимірювання тисків, що значно більші чи менші за атмосферний. **Металевий манометр** складається із зігнутої дугою еластичної металевої трубки, один кінець якої запаяний, а інший з'єднаний із резервуаром, в якому вимірюється тиск. Коли повітря чи інший газ під великим тиском входить у трубку, вона трохи розпрямляється і через систему важелів та зубчастих коліс обертає стрілку приладу за годинниковою стрілкою (мал. 29.1). Якщо тиск у трубці менший від атмосферного, то трубка згортається і обертає стрілку проти годинникової стрілки. Таким манометром, наприклад, вимірюють тиск у камерах автомобільних коліс.



Мал. 29.1.
Металічний манометр.

Рідинні манометри.

Рідинні манометри дозволяють вимірювати тиск із більшою точністю, ніж металеві. Вони складаються з вигнутої у вигляді літери U скляної трубки, дві сторони якої називають лівим і правим колінами манометра. У трубку наливають рідину; як правило, це ртуть, але використовуються і водні манометри. Одне коліно манометра з'єднується з резервуаром, в якому треба виміряти тиск, а інше – відкрите, і на поверхню рідини в трубці діє тиск атмосфери (це так звані **відкритий манометр**).



Мал. 29.2.
Відкритий рідинний манометр.



Мал. 29.3.
Закритий манометр
міряє малі тиски.

ти лишень до висоти, яка приблизно становить 10,5 м, а далі «відмовляється» йти за поршнем, оскільки сила тиску стовпа води врівноважує силу атмосферного тиску.

Поршневі насоси

Розглянемо конструкцію і принцип дії водяного насоса – звичайної ручної водяної помпи. Вона скла-

Розглянемо випадок, коли рівень рідини в правому коліні манометра вищий, ніж у лівому (мал. 29.2). Це означає, що тиск «р» в балоні більший за атмосферний на величину $\rho \cdot g \cdot h$, тобто $p = p_a + \rho \cdot g \cdot h$, де « p_a » – атмосферний тиск, а « ρ » – густина рідини в манометрі. Якщо рівень рідини у правому коліні нижчий, то тиск у балоні менший за атмосферний на величину $\rho \cdot g \cdot h$.

У манометра, який призначений для вимірювання дуже малих тисків, праве коліно запаєне і повністю заповнене рідиною перед початком вимірювань (мал. 29.3. а) – це так званий вкорочений манометр. На мал. 29.3 б над ртуттю у правому коліні вакуум, тому тиск у колбі дорівнює надлишковому тиску стовпчика ртуті над лівею рівноваги (пунктир), тобто $\rho \cdot g \cdot h$.

Чому вода слідує за поршнем

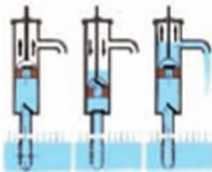
Набирайте у шприц воду, стежачи за тим, як вода піднімається за поршнем (мал. 29.4). Люди кілька тисячоліть не могли зрозуміти цього явища! Давньогрецький учений Аристотель пояснював його так: коли поршень рухається вгору по трубці насоса, під ним утворюється пустота, яку вода змушена заповнити. Люди тоді просто не могли собі уявити, що може існувати нічим не заповнений простір, тобто вакуум. Як

вияснилося після дослідів Торрічеллі, Паскаля і Геріке, воду «втискає» під поршень сила атмосферного тиску, яка діє на вільну поверхню води в посудині і передається в усі точки і в усіх напрямках – у тому числі і вгору. Коли почали закачувати воду на велику висоту, виявилось, що природа «боїться» пустоти



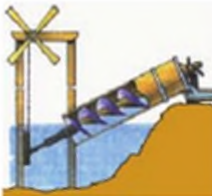
Мал. 29.4.
Вода слідує за поршнем насоса, бо її туди «втискає» сила атмосферного тиску.

дається із циліндра з поршнем і двох клапанів (мал. 29.5). Вхідний клапан знаходиться у верхній частині труби, яка з'єднує насос із водонесним шаром ґрунту і впускає воду вгору за ходом поршня, але не випускає назад при русі поршня вниз. Другий клапан знаходиться в поршні і пропускає воду вгору, коли поршень рухається вниз. При наступному ході поршня вгору верхній клапан закривається і частина води, яка знаходиться над ним, виливається у відро.



Мал. 29.5.
Клапани водної помпи пропускають воду вгору і не дають її «втекти» вниз.

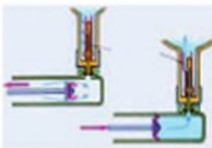
Цікаво знати. Цікаву конструкцію насоса винайшов Архімед (мал. 29.6). «Гвинт Архімеда» знаходиться у трубі, один кінець якої треба опустити у воду. При обертанні гвинта в певному напрямку вода починає підніматися вгору по трубі. Подібна конструкція застосована в домашній ручній м'ясорубці.



Мал. 29.6.
Гвинт Архімеда дозволяє перекачувати пульпу (суміш глини і води).

Повітряні насоси і компресори

Щоб накачати повітря у футбольний м'яч, камеру велосипеда чи автомобіля, використовують повітряні насоси (мал. 29.7). Завдання полягає в тому, щоб накачати в камеру повітря до певного тиску і зробити так, щоб воно назад із камери не виходило. Поршень насоса зроблено зі шкіри так, що його розширяє при нагнітанні повітря. У цьому випадку краї поршня міцно притискуються до стінок циліндра і не дають повітря «втекти». При зворотному ході поршня тиск у циліндрі зменшується, бо клапан не випускає повітря з камери. Краї шкіри зминаються, і повітря знову заповнює простір під поршнем. Для кращої герметизації поршень і стінки циліндра повинні бути змащені спеціальним мастилом. Простір під поршнем через систему вентилів і трубочок з'єднаний зі штуцером (трубка, до якої приєднують шланг насоса при накачуванні камери).



Мал. 29.7.
Велосипедний насос.



Дослід 29.1

«Дослідження вакууму».

Закрийте отвір шприца (без голки) пальцем і потягніть за ручку поршня. Що ви відчуваєте, тримаючи ручку рукою? Відпустіть поршень, і він різко повернеться на попереднє місце. Поясніть досвід.



Мал. 29.8.

Поршневий компресор.

Поршневий компресор (від латинського *compressus* – стиснутий) – це нагнітальний повітряний насос, поршень якого приводиться в дію двигуном. Він використовується для подачі стисненого повітря у пневматичні інструменти. Ви, напевно, бачили (і чули!) як працюють пневматичний молоток чи викрутка. За допомогою компресора накачують автомобільні шини, переганяють природний газ у газопроводах, розпилюють фарбу пульверизатором. Спеціальний кривошипно-шатунний механізм рухає поршень компресора “туда-сюди”, а два клапани – впускний і випускний – змушують повітря рухатися в потрібному напрямку (мал. 29.8).

Гідравлічний прес

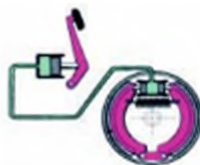
Гідравлічні пристрої, наприклад гідропідсилювач керма в автомобілі, широко застосовуються в сучасній техніці. Із назви зрозуміло, що йдеться про пристрої, які використовують рідину і багатократно підсилюють початкову дію. Легко натиснувши на гідравлічне гальмо (мал. 29.9), можна зупинити вантажний автомобіль чи поїзд. Гідравлічний підйомник піднімає й утримує автомобіль (мал. 29.10). Гідравлічний прес штампує будь-який профіль, навіть із товстого сталевого листа.

Усі ці машини і механізми діють за єдиним принципом – принципом гідравлічного преса, винайденого Паскалем. Гідравлічний прес складається з двох циліндрів із різними діаметрами (мал. 29.11). У середині циліндрів рухаються поршні. Циліндри герметично з'єднані між собою і заповнені рідиною (як правило, мінеральним маслом).

Нехай на менший поршень площею S_1 діє сила F_1 . Поршень тисне на рідину, створюючи в ній тиск $p = F_1/S_1$. За законом Паскаля, цей тиск передається в усі точки рідини. Тоді на другий поршень, площа якого більша й дорівнює S_2 , діятиме сила $F_2 = p \cdot S_2 = F_1 \cdot S_2/S_1$. Отже, зусилля яке розвиває другий поршень, у стільки разів більше від початкового, у скільки разів площа більшого поршня більша від площі малого поршня:

$$F_2/F_1 = S_2/S_1. \quad (29.1)$$

У потужних гідравлічних машинах малий поршень є частиною насоса, який швидко накачує рідину в циліндр із великим поршнем. Якщо замінити у пресі рідину на повітря, він теж працюватиме. Такі пристрої називають **пневматичними**. Оскільки повітря легко стискається, то



Мал. 29.9.

Гідравлічне гальмо автомобіля.



Мал. 29.10.

Гідравлічний підйомник.

пневматичні гальма діють «м'якше». У громадському транспорті двері відчиняються і зачиняються пневматичними пристроями, тому ви не постраждаєте, навіть якщо опинитесь у їх полоні.

Сервоскелет – досить екзотичний пристрій, який складається з гідралічних трубок із поршнями і має вигляд скелета. Ви вдаєте цю конструкцію на себе – і кожен ваш рух повторюється і підсилюється багатократно. Можна, наприклад, підійти до багатотонної вантажної машини і підняти її «руками».



Дослід 29.2

«Побудова моделі відралічного преса»

З'єднайте отвори двох одноразових шприців з різного діаметру пластиковою трубкою (мал. 29.12). Проведіть досліді спочатку з повітрям. Натисніть на менший за діаметром поршень. Який з поршнів легше рухати? Котрий з них переміщується на більшу відстань? Потім наберіть в систему воду і повторіть досліді.



Теми для дослідження

29.1. Опишіть роботу серця, як насоса. Як відбувається нагнітання крові в судини і як працюють серцеві клапани? Як регулюється частота, з якою «б'ється» серце? Як вимірюють артеріальний тиск?

29.2. За яким принципом діє гідралічний домкрат?

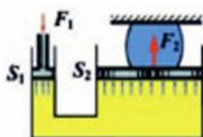
Підведемо підсумки

- Манометри використовують для вимірювання тисків значно більших або менших за атмосферний.
- Вода слідує в трубці за поршнем насоса, тому що її туди «вганяє» атмосферний тиск.
- Гідралічний прес підсилює дію у стільки разів, у скільки площа великого поршня більша за площу малого поршня: $F_2/F_1 = S_2/S_1$.



Вправа 29

1. Яке призначення манометрів?
2. Чому вода слідує за поршнем насоса?
3. Як діє велосипедний насос?
4. Чи працюватиме у вакуумі поршневі рідинний насос?
5. Для чого потрібні компресори?
6. Які інструменти називають пневматичними?
7. Із яких основних частин складається гідралічний або пневматичний підсилювач?



Мал. 29.11.
Схема будови
гідралічного преса.



Мал. 29.12.
Модель преса.

8. За рахунок чого відбувається підсилення вихідної дії в гідравлічному пресі та в сідльці різів?
9. Чому в гідравлічному пресі використовують рідину, а не повітря?
10. Як із повітряного нагнітального насоса зробити насос, який створює вакуум?
11. Рівень води у відкритому коліні манометра на 20 см вищий від рівня води в коліні, що приєднане до балона (мал. 29.2). Який тиск у балоні? Атмосферний тиск 100 000 Па, $g = 10 \text{ Н/кг}$.
12. Рівень води у відкритому коліні водяного манометра на 15 см нижчий за рівень води в коліні, що приєднане до балона. Який тиск у балоні? Атмосферний тиск 100 000 Па, $g = 10 \text{ Н/кг}$.
13. В приєднаному до резервуара коліні вкороченого ртутного манометра, рівень на 2 см нижчий, ніж у запаяній частині трубки (мал. 29.3 б). Який тиск у колбі? Атмосферний тиск становить $p_0 = 100\,000 \text{ Па}$, густина ртуті $13\,600 \text{ кг/м}^3$, $g = 10 \text{ Н/кг}$.
14. Чи може рівень ртуті у закритій частині вкороченого манометра бути нижчим, ніж у під'єднаній до колби (мал. 29.3 б)?
15. При атмосферному тиску, що дорівнює 750 мм рт. ст., манометр показує тиск у шинах автомобіля в 3,4 рази більший за атмосферний. Яка сила діє на кожні 100 см² верхньої шини?
16. а) Чому за допомогою поршневого насоса можна підняти воду тільки до висоти близько 10,5 м і не вище? б) Придумайте декілька способів підняти воду за допомогою поршневого насоса на висоту 20 м і більше.
17. Об'єм повітря в циліндрі компресора зменшився утричі. Як при цьому змінилася густина повітря?
18. Який тиск в озері на глибині 40 м? Атмосферний тиск 100 000 Па, $g = 10 \text{ Н/кг}$.
19. У гідравлічному пресі площа малого поршня становить 5 см², а великого – 1 м². Який максимальний виграш у силі може дати цей прес?
20. Малий поршень гідравлічного преса опускається на 25 см за один хід, а великий при цьому піднімається на 5 мм. Яку силу розвиває великий поршень, якщо на малий діє сила 200 Н? Виберіть правильну відповідь: А: 1000 Н; Б: 400 Н; В: 10 000 Н; Г: 40 Н.

§ 30. ВИШТОВХУВАЛЬНА СИЛА В РІДИНАХ І ГАЗАХ. ЗАКОН АРХІМЕДА

Виштовхувальна сила

Спробуйте занурити м'яч у воду. Ви відчуєте досить значну протидію сили, яка намагатиметься його звести виштовхнути. Виявляється, що і на тіла, які тонуть, також діє виштовхувальна сила. На повітряні кулі, які наповнені гарячим повітрям або гелієм, діє виштовхувальна сила навоколишнього повітря, завдяки якій вони літають.



Дослід 30.1

Підвісьте до динамометра тіло, що тоне, наприклад, велику батарейку, або коробочку від фотоплівки, наповнену монетами і запам'ятайте

покази приладу. Потім опустить тіло у воду (мал. 30.1). Стрілка динамометра покаже меншу силу. Різниця показів динамометра дорівнює виштовхувальній силі, яку називають силою Архімеда і позначають F_A .

Закон Архімеда: на тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка спрямована вертикально вгору і дорівнює вазі рідини, що витіснена цим тілом.

Для тіл, «занурених» у газ, виштовхувальна сила значно менша, ніж у рідині.

Закон Архімеда можна виразити формулою. Якщо густину рідини позначити ρ_r , а об'єм тіла – літерою V , і вважати, що тіло повністю занурилося, то об'єм витісненої рідини дорівнює об'єму тіла. Знайдемо масу витісненої рідини: $m_r = \rho_r \cdot V$. Вага витісненої рідини дорівнюватиме $m_r \cdot g = \rho_r \cdot V \cdot g$. Отже, силу Архімеда можна обчислити за формулою:

$$F_A = \rho_r \cdot V \cdot g \quad (30.1)$$

Чому виникає виштовхувальна сила

Спочатку пояснимо виникнення виштовхувальної сили у випадку, коли тіло має форму паралелепіпеда або циліндра (мал. 30.2 а), площу верхньої і нижньої грані яких позначимо літерою S , а висоту – літерою H . На мал. 30.2 б накреслено тільки вертикальний переріз тіла, зануреного в рідину. Сили тиску, що діють на поверхню тіла з боку рідини, зображені чорними стрілочками. Приведемо основні логічні кроки наших міркувань:

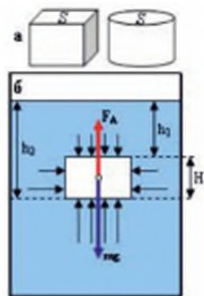
1. Сили тиску діють перпендикулярно до поверхні.
2. Чим глибше, тим сильніше рідина тисне на поверхню тіла.
3. Сили тиску на бокову поверхню тіла врівноважені і їх можна не брати до уваги (за умови, що тіло не стискається).

4. Сили тиску, що діють на нижню частину тіла, направлені вгору і вони більші за сили тиску, які діють на верхню частину вниз. Різниця цих сил діє вгору – це і є причиною виникнення виштовхувальної сили.



Мал. 30.1.

Вага зануреного в рідину тіла зменшується.



Мал. 30.2.

Утворення виштовхувальної сили.

Обчислення виштовхувальної сили

1. Сила тиску на **нижню грань** дорівнює добутку тиску стовпа рідини висотою h_2 на площу грані S : $F_2 = \rho_p g h_2 \cdot S$ і направлена вертикально **вгору**.

2. Сила тиску на **верхню грань** дорівнює добутку тиску стовпа рідини висотою h_1 на площу грані S : $F_1 = \rho_p g h_1 \cdot S$ і направлена вертикально **вниз**.

3. Рівнодійна двох протилежних сил F_1 і F_2 дорівнює їх різниці і направлена в сторону більшої сили, тобто вертикально вгору – це і є **сила Архімеда**: $F_A = F_2 - F_1$.

4. Підставляємо значення сил: $F_A = \rho_p g h_2 \cdot S - \rho_p g h_1 \cdot S$. Однакові величини можна винести за дужки: $F_A = \rho_p g S \cdot (h_2 - h_1)$. Помічаємо, що $h_2 - h_1 = H$. Отже: $F_A = \rho_p g S \cdot H$.

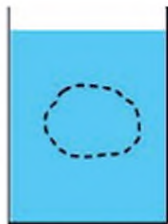
5. Добуток $S \cdot H$ – це об'єм тіла і в той же час об'єм витісненої рідини: $V = S \cdot H$, тобто $F_A = \rho_p g V$ – ми отримали формулу (30.1).

6. Добуток густини рідини на об'єм витісненої рідини – це її маса: $m_p = \rho_p V$, а добуток маси рідини на g дорівнює її вазі. Таким чином, **величина виштовхувальної сили дорівнює вазі витісненої рідини**: $F_A = m_p g$.

Логічне доведення формули (30.1).

Уявимо собі, що ми залишили тільки невагому поверхню-оболонку даного тіла (пунктирна лінія), і заповнили її тією ж рідиною, у якій воно плаває (Мал. 30.3). Але певний об'єм рідини, який знаходиться в тій самій рідині, перебуває в рівновазі. Це означає, що сила тяжіння, яка діє на рідину всередині оболонки зрівноважується виштовхувальною силою, яка виникла за рахунок сил тиску з боку рідини на поверхню тіла.

Отже, виштовхувальна сила дорівнює вазі рідини в об'ємі тіла і направлена протилежно до неї, тобто вертикально вгору.



Мал. 30.3.



Дослід 30.2

Опустіть у півлітрову банку з водою очищену картоплину. Вона потоне. Розчиняйте сіль у воді, поки картоплина не спливе. Потім додайте води, поки картопля знову не потоне. Поясніть спостережувані явища.

Парадокс Архімеда

Сила Архімеда, що діє на корабель, дорівнює вазі витісненої ним води. Але кількість води, у якій ко-



Мал. 30.4.

Парадокс Архімеда: корабель може плавати в малій кількості води.

рабель плаває, може бути значно меншою, ніж кількість води, яку він повинен витіснити, щоб плавати. Дослід, який пояснює цей парадокс зображено на мал. 30.4. Подібна ситуація трапляється, коли корабель перебуває в шлюзі (мал. 30.5).

Гідростатичне зважування

Гідростатичним називають зважування тіла, зануреного в рідину. Виштовхувальна сила (мал. 30.6) дорівнює різниці ваги тіла в повітрі (F_1) і в рідині (F_2):

$$F_A = F_1 - F_2. \quad (22.2)$$

З другого боку, $F_A = \rho_r \cdot V \cdot g$, а вага тіла в повітрі дорівнює силі тяжіння, яка діє на тіло, тобто: $F_1 = m_t \cdot g = \rho_t \cdot V \cdot g$. Підставивши два останніх вирази у формулу (22.2) отримуємо:

$$\rho_r \cdot V \cdot g = \rho_t \cdot V \cdot g - F_2. \quad (22.3)$$

Формула (22.3) дозволяє обчислити густину тіла, якщо відомі густина рідини і об'єм тіла. Гідростатичне зважування дозволяє також визначити густину рідини при відомій густині тіла.

Зауваження. Ми не враховували при отриманні формул виштовхувальну силу повітря, яка в таких дослідах набагато менша за сили F_1 і F_2 .

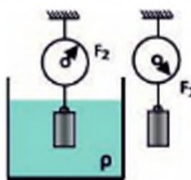
Особливі випадки

1. Траплялися випадки, коли підводний човен опускався на глинисте дно і більше не міг піднятися, в результаті чого гинув екіпаж. Так ставалося через те, що при відсутності дії сили тиску води на дно тіла, виштовхувальна сила не виникає. Навпаки, сили тиску в такому випадку притискають тіло до дна (мал. 30.7).

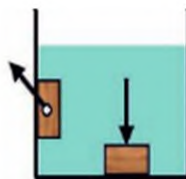
2. Якщо тіло прилипло до стінки посудини, то виштовхувальна сила вже не діє вертикально вгору (в такій ситуації перебувають равлічки що повзають по стінці акваріуму).



Мал. 30.5.
Корабель у шлюзі.



Мал. 30.6.
Гідростатичне зважування.



Мал. 30.7.
Особливі випадки.



Тема для дослідження

30.1. Однією з проблем точного зважування є те, що у повітрі на тіла діє виштовхувальна сила. Ця сила діє на зважуване тіло і на важки. Опишіть два способи вирішення цієї проблеми – знайдіть їх.

Підведемо підсумки

- На тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка спрямована вертикально вгору і чисельно дорівнює вазі рідини, що витіснена цим тілом.
- Сила Архімеда виникає через дію на поверхню тіла сил тиску з боку рідини чи газу. Ця сила не залежить від того, що знаходиться всередині тіла.



Вправа 30

- Куди напрямлена сила Архімеда?
- Яка причина виникнення виштовхувальної сили?
- Чи діє сила Архімеда на тіла, які тонуть?
- Яка величина сили Архімеда?
- Яка сила піднімає повітряну кулю?
- Як довести, що виштовхувальна сила напрямлена вертикально вгору?
- Чому мильні бульбашки влітку опускаються вниз, а взимку піднімаються вгору?
- Чому хит гине, якщо його викидає на берег?
- Одне з племен у басейні Амазонки якось зіткнулося з такою проблемою. Треба було навантажити в човен стільки золота, скільки важив священний гіпопотам, який скубав траву на зеленім моріжку неподалік від берега. Як це можна було б зробити?
- Два занурених в рідину тіла мають однаковий об'єм, але різну форму і масу. Як відрізняються діючі на них виштовхувальні сили?
- Через дію виштовхувальної сили повітря, маса тіла, зваженого на терезах, дещо відрізняється від його справжньої маси – в більшу чи меншу сторону?
- Що важить більше: тонна заліза чи тонна дерева?
- Якщо підводний човен "сяде" на м'яке глинисте дно, він уже не зможе піднятися. Куди поділася сила Архімеда?
- Чи відрізняються виштовхувальні сили, що діють на батискаф на глибині 100 м і 10 000 м?
- Каструля по вінця заповнена водою. Який об'єм води вилетиться, якщо в неї помістити тіло об'ємом 0,5 л та масою: а) 0,4 кг; б) 0,6 кг? Тіло повністю поміщається в посудину.
- Алюмінієве тіло масою 54 г підвісили до динамометра. Якими будуть покази динамометра, якщо: а) тіло знаходиться в повітрі; б) тіло занурене у воду? Густина алюмінію становить $2,7 \text{ г/см}^3$. Ціна поділки динамометра – 0,1 Н.
- Знайдіть об'єм шматка заліза, який у воді важить 13,6 Н. Густина заліза $7,8 \text{ г/см}^3$.
- а) Обчисліть виштовхувальну силу, що діє на коробку від фотоапарату (мал. 30.1). б) Обчисліть середню густину коробки разом з монетами, що знаходяться всередині, якщо її діаметр становить 3,1 см, а висота – 4,8 см. Вважайте коробку циліндром.
- На важелі, який знаходиться в повітрі, зрівноважили алюмінієву і залізну кулі однакового об'єму, підвісивши їх на нитках. Чи порушиться рівновага важеля, якщо обидві кулі занурити в рідину?
- На важелі, який знаходиться в повітрі, зрівноважили алюмінієву і залізну кулі однакової маси, підвісивши їх на нитках. Чи порушиться рівновага важеля, якщо обидві кулі занурити в рідину?

21. В якому напрямку і чому діє виштовхувальна сила на тіло, яке прилипло до бокової стінки посудини і знаходиться під водою? Поясніть відповідь за допомогою малюнка.

22*. Суцільне однорідне тіло, занурене у рідину густиною ρ_1 , важить F_1 , а в рідині густиною ρ_2 його вага становить F_2 . Визначте густину речовини, з якої зроблено тіло.

23*. В одну з двох однакових циліндричних сполучених посудин, частково заповнених водою, помістили дерев'яну кульку масою 20 г. При цьому в другій посудині рівень води піднявся на 2 мм. Чому дорівнює площа поперечного перерізу одного з циліндрів?

24. Крижина масою 100 кг плаває у воді. Яка маса льоду знаходиться над водою? Густина льоду $\rho_{\text{л}} = 900 \text{ кг/м}^3$, густина води $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$.

§ 31. УМОВИ ПЛАВАННЯ ТІЛ

Річками, озерами, морями і океанами плавають катери, яхти, торговельні і пасажирські кораблі, танкери, крейсери, криголами, авіаносці... Всі вони мають бути сконструйовані так, щоб триматися на поверхні і витримувати непогоду та навіть шторм. Підводні човни повинні плавати як на поверхні, так і під водою. Отож розглянемо умови плавання тіл.

Умови плавання

Коли корабель плаває на поверхні води, його вага точно зрівноважена виштовхувальною силою, що дорівнює вазі води, витісненої зануреною частиною корабля, яка знаходиться нижче від ватерлінії (верхня границя червоної смуги мал. 31.1). Маса витісненої кораблем води називається його тоннажністю.

У тіла, яке плаває на поверхні, у воду занурена тільки деяка частина його об'єму. Незалежно від того, занурене це тіло мало чи сильно – виштовхувальна сила дорівнює силі тяжіння (мал. 23.2), тобто обидві сили, що діють на тіло – зрівноважені. Якщо натиснути на тіло, що плаває, воно зануриться глибше, але виштовхувальна сила зросте, і після того, що ми перестанемо на нього тиснути, воно знову спливе. Отже, тіло плаватиме (чи спливатиме), якщо виштовхувальна сила більша або принаймні рівна силі тяжіння:

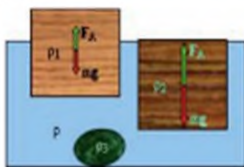
$$F_A \geq m_t g, \quad (23.1)$$

де m_t – маса тіла.

Розглянемо граничний випадок, коли тіло повністю занурилося у рідину, але знахо-



Мал. 31.1.



Мал. 31.2.

Якщо тіло плаває, сила Архімеда зрівноважена силою тяжіння.

диться в завислому стані, тобто не тоне і не спливає. Оскільки тепер $F_A = m_0 g$, можна записати, що $\rho_p \cdot V \cdot g = \rho_r V_r g$, або, після скорочення однакових величин:

$$\rho_p = \rho_r \quad (23.2)$$

Виявляється, все залежить тільки від співвідношення між густиною тіла ρ_t і густиною рідини ρ_r : *тіло тоне, якщо його густина більша від густини рідини, в яку воно занурене. Аналогічно: тіло плаває, якщо його густина менша від густини рідини.*

Якщо густина тіла дорівнює густині рідини, то воно може знаходитися на довільній глибині в завислому стані.

Приклад 31.1

Тіло масою 200 г плаває у воді. Яку масу води витісняє тіло?

Розв'язання. Оскільки тіло плаває, його вага дорівнює вазі витісненої води. Таким чином, маса тіла і маса витісненої рідини – також рівні.

Відповідь: тіло, яке плаває, витісняє масу води, яка рівна масі тіла.

Приклад 31.2

Тіло плаває у воді, занурившись на $\frac{2}{5}$ свого об'єму у воду. Яка густина тіла?

Розв'язання. З таблиць відомо, що густина води дорівнює 1000 кг/м^3 . Позначимо об'єм тіла V , густину тіла ρ_t , густину води $\rho_в$. Тоді об'єм витісненої води становить $\frac{2}{5}V$. Маса тіла $m_t = \rho_t \cdot V$ повинна бути такою самою, як маса витісненої води $m_в = \rho_в \cdot \frac{2}{5}V$, оскільки тіло плаває.

Отже: $\rho_t \cdot V = \rho_в \cdot \frac{2}{5}V$, звідки слідує, що $\rho_t = \frac{2}{5} \rho_в$.

Відповідь: густина даного тіла становить $\frac{2}{5}$ густини води, тобто .



Дослід 31.1

«Картезіанський водоліз».

Цей дослід придумав французький фізик, математик і філософ Рене Декарт (прізвище Декарта латиною звучить як Картезіус). Візьміть піпетку і наберіть в неї стільки води, щоб вона ледь плавала (мал. 31.3). Потім помістіть піпетку у пластикову пляшку, наповнену на три чверті свого об'єму водою і щільно закрутіть кришку. Якщо ви стиснете пляшку, піпетка почне тонути і ви можете, змінюючи тиск на пляшку, рухати піпетку вниз чи вгору, або тримати її нерухомою на певній глибині.

Зверніть увагу, що при стисканні пляшки (збільшення тиску повітря), рівень води в піпетці підвищується, тобто в піпетку заходить вода, а при зменшенні тиску в пляшці вода з піпетки виходить.



Мал. 31.3.

Картезіанський водоліз, зроблений з піпетки і пластикової пляшки.

Навчіться опускати і піднімати "водолаза", а також утримувати його в завислому стані між дном і поверхнею води.

Чому при стисканні пляшки водолаз занурюється?

Чи залежить результат досліду від того, в якому місці ви стискаєте пляшку?

В якому місці пляшки знаходиться піпетка, коли вона здається збільшеною?



Тема для дослідження

31.1. Опустіть "картезіанського водолаза" на глибину 2 – 3 см і різко перестаньте тиснути на пляшку. При спливанні піпетка «вдариться» об поверхню води і змінить напрям руху, тобто поверхня води поводитиметься як пружна плівка (якщо дослід не вдається, зменшіть глибину занурення). Поясніть поведінку поверхні води в даному досліді.

31.2. З фольги певних розмірів виготуйте баржу і дослідіть, при якій конструкції вона витримує найбільшу вагу.

Підводний човен

Підводний човен (мал. 31.4) може змінювати свою густину. Усередині човна є баластні цистерни; якщо туди набрати воду, то густина човна стає більшою за густину води, і він починає занурюватись. Для того щоб човен почав спливати, треба "продути баласт", тобто витіснити за допомогою стисненого повітря з цистерн воду за межі човна. Тоді густина човна знову стає меншою від густини води. Під водою човен, рухаючись, маневрує за допомогою керма глибини і керма поворотів, які діють подібно до крил літака.

Повітроплавання

Повітряні кулі (мал. 31.5) літають, тому що в повітрі також діє виштовхувальна сила. Оскільки густина повітря невелика, то й сила Архімеда мала. Для людини середнього зросту і статури (маса 70 кг, вага – приблизно 700 Н) виштовхувальна сила становить близько 1 Н, що в 700 разів менше за її вагу.

Щоб повітряна куля могла піднятися, вона повинна мати великий об'єм і її потрібно наповнити газом, густина якого менша за густину повітря (водяна пара, гаряче повітря, водень або гелій). Піднімальна сила, що діє на кулю, повинна



Мал. 31.4.

Якщо тіло плаває, сила Архімеда врівноважена силою тяжіння.



Мал. 31.5.

Монгольф'єр наповнюють гарячим повітрям.

бути більшою за вагу газу, яким вона наповнена, а також оболонки і вантажу, який піднімають.

Приклад 31.3

Повітряна куля об'ємом V , яка заповнена газом густиною ρ , витісняє такий самий об'єм повітря густиною ρ_0 . Знайдемо величину піднімальної сили повітряної кулі. Масою оболонки можна знехтувати.

Піднімальна сила дорівнює різниці сили Архімеда $F_A = \rho_0 \cdot g \cdot V$ і ваги газу $\rho V \cdot g$, що заповнює кулю:

$$F = \rho_0 \cdot g \cdot V - \rho \cdot g \cdot V = (\rho_0 - \rho) \cdot g \cdot V \quad (31.3)$$

Із формули (31.3) видно, що чим менша густина газу, яким заповнюють кулю, і чим більший об'єм кулі, тим більша піднімальна сила.

Підведемо підсумки

- Якщо тіло плаває, то виштовхувальна сила дорівнює силі тяжіння, що діє на тіло.
- Тіло тоне, якщо його густина більша за густину рідини, в яку воно занурене, і плаває, якщо його густина менша за густину рідини.



Вправа 31

1. Яка умова того, що тіло: а) плаває, б) тоне?
2. Яку масу води витісняє корабель?
3. Якими газами слід наповнювати повітряні кулі?
4. За якої умови піпетка в досліді 31.2 «зависне» всередині пляшки?
5. Яке призначення підводних човнів?
6. Порівняйте густину тіл ρ_1 , ρ_2 і ρ_3 з густиною рідини ρ , в якій вони знаходяться (мал. 31.2).
7. Оскільки «картезіанський водоліз» плаває, його густина менша за густину води. За рахунок чого збільшується густина піпетки, коли ми стискаємо пляшку?
8. Чому піднімається вгору дим?
9. Щоб пірнути, кит мусить збільшити свою густину. Як він це робить?
10. Риби іноді пускають бульбашки з рота. Коли саме вони це роблять: коли випливають чи коли пірнають?
11. Чи буде діяти на тіло виштовхувальна сила, якщо пропаде сила тяжіння?
12. Чому у кабіні космічної станції запалений сірник чи свічка швидко гаснуть?
13. Чому повітряна куля, наповнена воднем, має більшу піднімальну силу, ніж куля, наповнена гелієм?
14. Чому оболонку стратостатів заповнюють газом тільки частково?
15. Чому тенісний м'ячик, занурений у воду, піднімається на поверхню, а повітряна куля зупиняється, не досягнувши верху атмосфери?
16. Яку масу води витісняє тіло, яке плаває, якщо його маса 200 г?
17. Полум'я пальника у монгольф'єра відрегульовано так, що куля зависла в повітрі. Що можна сказати про масу кулі разом із гарячим повітрям усередині і про масу витісненого кулею повітря?

18. Чи можна добратися до Місяця на повітряній кулі?

19. а) Чи плаватиме у воді скляна пляшка, наповнена водою; б) чи плаватиме пляшка, наповнена ртуттю, у ртуті?

20. Тіло плаває, занурившись на третину свого об'єму у воду. Чому дорівнює густина тіла?

21. Визначте об'єм плаваючої в морі крижини площею 160 м², якщо висота частини крижини, яка знаходиться над поверхнею води, дорівнює 1 м. Густина льоду 0,9 г/см³.

22*. У циліндричну посудину з площею дна S налита рідина густиною ρ . На скільки підніметься рівень рідини в посудині, якщо в неї помістити тіло масою m , яке плаває, не торкаючись дна?

23. Дерев'яний кубик лежить на дні склянки. Чи спливе він, якщо у склянку налити води? Вода не проникає під кубик.

24. Ви тримаєте на нитці повітряну кульку, наповнену гелієм. а) Які сили компенсуються, не даючи кульці злетіти? б) Чому кулька прискорюється, якщо відпустити нитку?

25. *В дерев'яній коробочці, яка плаває в посудині з водою, знаходиться залізна кулька. Як зміниться рівень води в посудині, якщо кульку кинути у воду?

26. Куля об'ємом 1 м³ наповнена гелієм і може підняти вантаж 1 кг. Який максимальний вантаж вона підніме, якщо її наповнити воднем? Виберіть правильну відповідь: А: 2 кг; Б: 1,3 кг; В: 1,21 кг; Г: 1,12 кг; Д: 1,09 кг. Густина повітря 1,29 кг/м³, гелію 0,18 кг/м³, водню 0,09 кг/м³.



3 історії науки. Брати Монгольф'є.

Із давніх часів люди мріяли про можливість літати, як птахи, і придумували для цього хитромудрі пристрої і машини, що махали крильми. Але трапилося так, що вперше людина відірвалася від Землі і піднялася в повітря за допомогою повітряної кулі, яку винайшли брати Монгольф'є.

У кінці XVIII століття два французькі хлопчики, брати Жозеф і Жак Монгольф'є, займалися досвідами, наповнюючи паперові пакети гарячим повітрям і парою із киплячого чайника. Вони вирішили, що оскільки пара піднімається вгору, утворюючи хмари, то й легкий мішок, наповнений паром, також повинен літати. Літати хлопці мріяли з дитинства. Жак у дев'ять років зістрибнув із парасолькою з даху комори і набив собі синяків.



Люди мріяли літати як птахи.

Досліди тривали кілька років, і нарешті було проведено політ кулі на відкритому повітрі в присутності мера і жителів містечка. Мішок, пошитий зі старої спідниці, підвісили отвором униз над вогнищем, розпаленим із вогкої соломи. Мішок роздувся, злетів високо в повітря й опустився за кілька кілометрів від села. Брати були в захопленні, але не розуміли, чому їхня куля через деякий час після початку польоту падає.

Насправді ж гаряче повітря розширюється, і та його частина, що залишається в кулі, важить менше, ніж повітря ззовні. У результаті виштовхувальна сила стає більшою за вагу кулі. У польоті повітря вистигає і



піднімальна сила поступово зменшується.

Відомий французький фізик Шарль у грудні 1783 року здійснив двогодинний політ на кулі, наповненій воднем. Така повітряна куля добре літає, бо водень дуже легкий, але при контакті з повітрям він легко спалахує, тому такі кулі вогнєнебезпечні. Пізніше кулі почали заповнювати безпечним гелієм. У наш час величезні кулі, виготовлені з легких новітніх матеріалів і наповнені гарячим повітрям, яке нагрівають за допомогою газових пальників – монгольф'єри, – стали предметом спортивних змагань.

ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ III

- Якщо на тіло діє нескомпенсована сила, швидкість тіла буде змінюватися: збільшуватися, зменшуватися чи змінювати напрям.
- При відсутності сил або їх компенсації тіло зберігає свій початковий стан руху – перший закон Ньютона.
- Маса є мірою інертності тіла (інертна маса) і маса є мірою гравітаційної взаємодії тіл (гравітаційна/важка маса.)
- Маса тіла визначають на важільних терезах і вимірюють в СІ у кг, $[m]_{СИ} = \text{кг}$.
- Маса одиниці об'єму речовини називають густиною. Густина визначають за формулою: $\rho = \frac{m}{V}$, $[\rho]_{СИ} = \text{кг}/\text{м}^3$.
- Прискорення показує зміну швидкості тіла за одиницю часу, $[a]_{СИ} = \text{м}/\text{с}^2$.
- Сила – це фізична величина, яка є наслідком дії на тіло інших тіл і спричиняє деформацію та прискорення.
- Сили, з якими тіла діють одне на одне, однакові за величиною і протилежні за напрямом – III-й закон Ньютона.
- Сила пружності прямо пропорційна видовженню пружини – закон Гука для пружної деформації розтягу-стиску: $F = kx$, $[k]_{СИ} = \text{Н}/\text{м}$.
- Силу вимірюють динамометром. Основна деталь приладу – стальна пружина.
- Якщо на тіло діє декілька сил, їх потрібно векторно додати. Результат додавання називають рівнодійною всіх доданих сил: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots$
- Прискорення тіла прямо пропорційне рівнодійній силі \vec{F} і обернено пропорційне масі тіла: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ – II закон Ньютона, $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$.
- Сила, з якою тіло діє на горизонтальну опору або вертикально розташований підвіс, називають вагою.
- Сила тяжіння, яка діє на тіло з боку Землі пропорційна масі тіла і розраховується по формулі $F_{\text{тяж}} = mg$.
- Сила тертя ковзання прямо пропорційна величині сили реакції опори $F_{\text{тп}} = \mu \cdot N$.
- Вектор сили тертя ковзання напрямлений паралельно площині дотику в бік, протилежний до напрямку руху.
- Сила тертя спокою дорівнює і протилежна тій силі, яка не може зрушити тіло з місця.

- Тертя ковзання набагато менше за тертя ковзання.
- В'язке тертя виникає при русі в рідині або газі і не має тертя спокою.
- Тиск дорівнює відношенню величини сили тиску до площі поверхні: $p = \frac{F_N}{S}$, $[p]_{\text{СИ}} = \text{Па} = \text{Н} / \text{м}^2$.
- Тиск в рідинах і газах передається в усі точки і в усіх напрямках однаково – закон Паскаля.
- Тиск рідини обчислюється за формулою: $p = \rho \cdot g \cdot h$ і не залежить від форми посудини.
- Гідравлічний прес підсилює дію у стільки разів, у скільки площа великого поршня більша за площу малого поршня: $F_2/F_1 = S_2/S_1$.
- Нормальний атмосферний тиск становить $p_0 = 760$ мм. рт. ст., або приблизно 100 000 Па. Одна атмосфера (позасистемна одиниця вимірювання тиску, як і мм. рт. ст.): 1 атм = 101 325 Па (точно).
- На тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка спрямована вертикально вгору і дорівнює вазі рідини (чи газу), що витіснена цим тілом.
- Сила Архімеда виникає через дію на поверхню тіла сил тиску з боку рідини чи газу. Ця сила не залежить від того, що знаходиться всередині тіла.
- Якщо тіло плаває – виштовхувальна сила дорівнює силі тяжіння.
- Тіло тоне, якщо його густина більша за густину рідини, в яку воно занурене, і плаває, якщо його густина менша за густину рідини.

ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ II

Виберіть правильний варіант відповіді:

1. Те, що лід плаває на поверхні води означає, що густина льоду:

А: більша за густину води; Б: менша за густину води; В: рівна густині води; Г: не можна порівнювати.

2. Те, що над водою знаходиться 0,1 частина об'єму айсберга означає, що його густина становить:

А: 0,1 густини води; Б: 1,1 густини води; В: 0,9 густини води; Г: дорівнює густині води.

3. Кусок льоду плаває в стакані з водою. Як зміниться рівень води після того, що лід розтане:

А: підвищиться; Б: не зміниться; В: понизиться; Г: не вистачає даних.

4. Розміри мідного кубу збільшили втричі. У скільки разів змінилися його маса і густина:

А: маса і густина збільшилися втричі; Б: маса збільшилася у шість разів, густина збільшилася втричі; В: маса збільшилася у дев'ять разів, густина не змінилася; Г: маса збільшилася у дев'ять разів, густина зменшилася втричі.

5. Сталеву кулю об'ємом 1 дм³ опускають в посудину, щерть заповнену водою. Яка маса води виллється:

А: 1 кг; Б: 7,8 кг; В: 2,5 кг; Г: 0,5 кг.

6. Яка вага тіла, маса якого 50 кг:

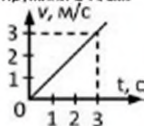
А: 50 Н; Б: 49 Н; В: 500 Н; Г: 490 Н.

7. Під дією сили 3 Н пружина видовжилась на 2 см. Яка жорсткість пружини в Н/см:

А: 6; Б: 1,5; В: 3; Г: 5.

8. За даним графіком $v(t)$ визначте величину сили, що діяла на тіло масою 2 кг протягом 3 с (мал. III.1):

А: 3 Н; Б: 2 Н; В: 1 Н; Г: 0.



Мал. III.1.

9. Яка сила штовхає людину вперед під час бігу:

А: сила тяжіння; Б: сила реакції опору; В: тертя спокою; Г: тертя ковзання.

10. За якою ознакою можна визначити, що на тіло діє некомпенсована сила? Тіло рухається:

А: рівномірно; Б: прискорено; В: рівномірно прямолінійно; Г: знаходиться в рівновазі.

11. Парашутист масою 80 кг опускається рівномірно з відкритим парашутом. Яка величина сили опору повітря, що на нього діє:

А: 80 Н; Б: 800 Н; В: 0; Г: 180 Н.

12. Густина рідини в три рази більша за густину тіла. Яка частина об'єму тіла буде знаходитися над рідиною, в якій воно плаває? Виберіть правильну відповідь:

А: 1/3; Б: 2/3; В: 1/2; Г: 1/4.

Розв'яжіть задачу

- Для сили на тіло припинилася. Чи зберігає воно: а) прискорення, б) швидкість?
- Яка сила може заставити автомобіль масою 2 000 кг збільшити швидкість від 10 м/с до 20 м/с за 5 с?
- Тіло масою 2 кг знаходиться на горизонтальній площині. Коефіцієнт тертя становить 0,3. На тіло діє горизонтальна сила F , $g = 10 \text{ Н/кг}$. Визначте силу тертя для двох випадків: а) $F = 2 \text{ Н}$, б) $F = 4 \text{ Н}$.
- Яку величину рівнодійної двох сил 10 Н і 14 Н можна отримати, якщо вони напрямлені: а) в один бік, б) в протилежні сторони?
- Яка сила не дає розв'язатися вузлам на шнурках черевиків?
- Підвішений до тросу тягар діє на нього з силою 19,6 Н. Яка маса тягаря?
- Хлопчик масою 50 кг несе рюкзак масою 15 кг. З якою силою хлопчик тисне на дорогу?
- Масу снаряду в гарматі збільшили вдвічі, не змінивши кількість пороху в гільзі. Як змінилося прискорення снаряду при вистрелі?
- На автомобіль, що рівномірно рухається по горизонтальній дорозі діє сила тяги 2 кН і сила тертя 0,5 кН. Яка сила опору повітря діє на автомобіль?
- Санки масою 80 кг рухаються рівномірно під дією горизонтальної сили 40 Н. Який коефіцієнт тертя санок об лід?

11. Співставивши факт падіння яблука і рух Місяця навколо Землі, Ньютон припустив, що причина цих явищ одна – земне тяжіння. Чим було це припущення: фізичним законом, гіпотезою чи теорією?

12. Під дією однакової сили 5 Н, перша пружина видовжилася на 2 см, а друга – на 2,5 см. Порівняйте жорсткість пружин.

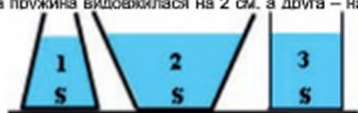
13. Яке підсилення можна отримати на гідравлічній машині, де відношення площ поршнів становить 1 : 20?

14. На якій глибині в озері тиск води становить 300 000 Па? $g = 10 \text{ Н/кг}$.

15. Яку силу треба прикласти до каменя масою 10 кг, щоб відірвати його від дна, якщо на нього діє виштовхувальна сила 30 Н? $g = 10 \text{ Н/кг}$.

16. Який приблизно об'єм людини масою 45 кг?

17. У посудинах з однаковими площами дна (мал. III.2) знаходиться вода, рівні якої однакові і дорівнюють h . В якій з посудин найбільшими є: а) маса води, б) тиск на дно, в) сила тиску на дно? г) В якій посудині сила тиску на дно дорівнює силі тяжіння, яка діє на воду?



Мал. III.2.

18. Два тіла різної густини плавають у воді. а) Яке з тіл глибше занурене у воду? б) На яке з тіл діє більша виштовхувальна сила?

19. Чому при нормальному атмосферному тиску воду поршневим насосом не можна підняти вище, ніж на 10,3 м?

20. Два тіла різної маси але однакового об'єму повністю занурили у воду. Порівняйте виштовхувальні сили, що діють на тіла.

21. Алюмінієве та залізне тіла однакової маси повністю занурили у воду. Порівняйте виштовхувальні сили, що діють на тіла.

22. Судно, занурене в озері по ватерлінії, має масу 10 000 кг. Який об'єм води воно витісняє?

23. На дно циліндричної посудини з водою і площею дна 20 см², поклали алюмінієве тіло. При цьому рівень води піднявся на 5 см. а) Яка маса тіла? б) З якою силою тіло тисне на дно посудини? $g = 10 \text{ Н/кг}$.

24. На терезах, що знаходяться в герметичній посудині алюмінієве тіло врівноважене сталевими важками. Куди рушить шалька терезів, на якій знаходиться тіло, якщо з посудини вичапати повітря?

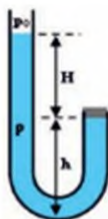
25. В U-подібну скляну трубку (мал. III.3), закриту з правого боку корком, налито воду (ρ). Визначте тиск води: а) на корок, б) в нижній частині трубки. Атмосферний тиск – p_0 .

26. В горизонтальній закритій тонкій трубці (мал. III.4) знаходяться повітря, що розділене стовпчиком ртуті довжиною $h = 3$ см. Тиск повітря $p_2 = 750$ мм рт. ст. Який тиск p_1 у випадку, коли а) трубка горизонтальна, б) трубка вертикальна, p_1 нагорі, в) трубка вертикальна, p_2 нагорі?

27. Підвішене за нитку до стелі тіло масою $m = 0,5$ кг і густиною 2500 кг/м^3 повністю занурене у воду і перебуває в рівновазі (мал. III.5). а) Скільки сил діє на тіло і які вони за величиною і напрямком? б) Чому дорівнює рівнодійна F сил, що діють на тіло? в) З якою силою і в якому напрямку тіло діє на нитку в точці підвісу?

28. У посудині з ртуттю плаває сталеве тіло. Чи зміниться глибина занурення тіла у ртуть, якщо в посудину долити воду?

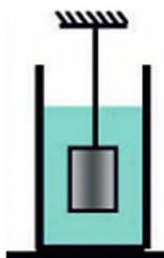
29. У циліндричну посудину масою 300 г, в якій знаходиться вода, густина якої $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, повністю занурили тіло масою $m = 200$ г, яке висить на нитці (мал. III.6). Висота рівня води збільшилася від початкового рівня $h_1 = 15$ см до $h_2 = 20$ см. Визначте: а) на скільки збільшився тиск води на дно посудини? б) Яка вага посудини з водою (P_1) в першому і (P_2) в другому випадку? в) Яка виштовхувальна сила діє на тіло? г) На скільки змен-



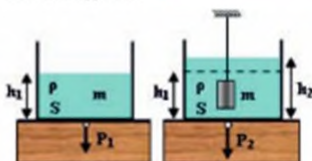
Мал. III.3.



Мал. III.4.



Мал. III.5.



Мал. III.6.

шився натяг нитки, на якій висить тіло?

30. Посудина з рідиною врівноважена на вагах (мал. III.7). Після того, як у воду опустили металеве тіло, що підвішене на нитці, рівновага порушилася. а) Чому шалька з посудиною опустилася, адже тіло висить на нитці і не торкається дна посудини? б) Якою повинна бути вага додаткового вантажу, який врівноважить ваги в новій ситуації?



Мал. III.7.

31. В посудині з водою (мал. III.8) плаває коробка, в якій знаходиться стальне тіло. Як зміниться рівень води, якщо тіло перемістити на дно посудини?



Мал. III.8.



Розділ IV

Механічна робота та енергія

3
4
5
6
7
8
9
10



§ 32. МЕХАНІЧНА РОБОТА. ПОТУЖНІСТЬ

Механічна робота

Механічною роботою називають переміщення тіла під дією сили. Роботу можна підрахувати за формулою:

$$A = F \cdot s, \quad (32.1)$$

де A – робота, а F – сила, яка направлена по лінії дії вектора переміщення \vec{s} (мал. 32.1). Формула дає вірний результат лише за умови, що сила залишається постійною впродовж усього переміщення.

Отже, робота дорівнює добутку сили на величину переміщення.

В СІ робота вимірюється в джоулях (Дж). Одиниця названа на честь англійського фізика Джеймса Джоуля, який уперше довів, що теплота – це різновид енергії. Згідно (32.1) $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м}$: **робота величиною в один джоуль (Дж) виконується силою один ньютон (Н), що переміщує тіло в напрямку дії сили на один метр (м).**

Якщо на тіло діє декілька сил, то робота кожної сили обчислюється окремо (мал. 32.1). Коли сила діє в протилежному до переміщення напрямі, то її робота вважається від'ємною, такою може бути, наприклад, робота сили тертя: $A_{\text{тр}} = -F_{\text{тр}} \cdot s$.

Якщо сила направлена перпендикулярно до переміщення, то її робота дорівнює нулю. Ми, наприклад, не вказали на мал. 32.1 сили реакції опори N і mg , оскільки роботу ці сили не виконують.



Мал. 32.1.

Робота дорівнює добутку сили на переміщення

Приклад 32.1

Тіло перемістили на відстань $s = 2 \text{ м}$, рухаючи його рівномірно в горизонтальному напрямі під дією сили $F = 3 \text{ Н}$. Обчисліть роботу сили F і сили тертя $F_{\text{тр}}$.

Дано:

$m = 10 \text{ кг}$

$s = 2 \text{ м}$

$F = 3 \text{ Н}$

$A_F = ?$

$A_{\text{тр}} = ?$

Розв'язання. Роботу сили F обчислимо за формулою:

$$A_F = F \cdot s = 3 \text{ Н} \cdot 2 \text{ м} = 6 \text{ Дж}.$$

Оскільки тіло рухається рівномірно, то сила F компенсує дію сили $F_{\text{тр}}$, тобто дорівнює їй за величиною (і протилежна за напрямом): $F_{\text{тр}} = F = 3 \text{ Н}$. Робота сили тертя дорівнює:

$$A_{\text{тр}} = -F_{\text{тр}} \cdot s = -3 \text{ Н} \cdot 2 \text{ м} = -6 \text{ Дж}.$$

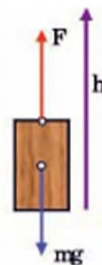
Відповідь: робота сили F дорівнює 6 Дж , робота сили тертя дорівнює -6 Дж .

Робота в полі тяжіння

Якщо тіло рівномірно піднімають вгору, долаючи силу тяжіння « mg », чи опускають вниз під дією сили тяжіння (мал. 32.2), то робота обчислюється за тією ж формулою (32.1), але переміщення позначають літерою « h »:

$$A = mg \cdot h. \quad (32.1a)$$

При підйомі робота сили тяжіння від'ємна, а робота підіймаючої сили – додатна.



Мал. 32.2.

Приклад 32.2

Яка робота була виконана краном, що підняв бетонну плиту масою 400 кг на висоту 5 м? $g = 10 \text{ Н/кг}$.

Дано:

$$m = 400 \text{ кг}$$

$$h = 5 \text{ м}$$

$$g = 10 \text{ Н/кг}$$

$$A_{\text{тек}} = ?$$

Розв'язання. Очевидно, що кран повинен діяти на плиту вгору з силою F , не меншою за mg .

Роботу сили F , яку розвиває кран, обчислимо за формулою: $A_F = F \cdot h = mg \cdot h = 20\,000 \text{ Дж}$.

Відповідь. Кран виконав роботу 20 000 Дж, або 20 кДж.

Графік сили

Накреслимо графік залежності величини сили « F » від переміщення « s » для випадку, коли величина сили не змінюється, а напрям сили збігається з напрямом переміщення (мал. 32.3). Легко помітити, що добуток $F \cdot s$ співпадає за числовим значенням з площею прямокутника $abcd$, тобто **робота може бути обчислена як площа під графіком сили**.

Цей новий спосіб обчислення роботи стає в нагоді, коли сила змінюється в процесі переміщення. Якщо ми розтягуємо пружину з деякою силою F , то величина цієї сили збільшується по мірі збільшення видовження пружини згідно закону Гюка. Отже обчислювати роботу за формулою (32.1) вже не можна.

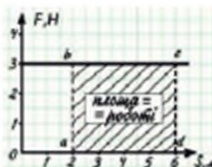
Накреслимо графік сили для випадку видовження пружини (мал. 32.4). Робота чисельно дорівнює площі трикутника abc , де $ab = x$ – видовження, а відрізок $bc = F$ – максимальна сила, яка утримує пружину у видовженому стані.

Таким чином, робота по видовженню пружини дорівнює:

$$A = \frac{1}{2} \cdot F \cdot x. \quad (32.2)$$

Враховуючи, що $F = k \cdot x$, формулу (32.2) можна записати і так:

$$A = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 \quad (32.3)$$



Мал. 32.3.

Площа під графіком сили чисельно дорівнює роботі

Потужність

Швидкість виконання роботи називають потужністю і позначають літерою P . **Потужність дорівнює відношенню роботи до часу, впродовж якого ця робота була виконана:**

$$P = \frac{A}{t}; \quad (32.4)$$

де A – робота виконана за час t .

В СІ потужність вимірюється у ватах (Вт) на честь англійського вченого та інженера Джеймса Ватта, який побудував першу парову машину. Згідно (32.4) $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$: при потужності один ват за одну секунду виконується робота один джоуль.

На практиці часто використовуються більші одиниці потужності – кіловат (кВт) і мегават (МВт): $1 \text{ кВт} = 1\,000 \text{ Вт}$, $1 \text{ МВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт}$.

Якщо у формулі (32.4) « A » замінити на $F \cdot s$ і врахувати, що $v = s/t$, то отримаємо нову корисну формулу, яка дозволяє знайти потужність, знаючи силу й швидкість:

$$P = F \cdot v. \quad (32.5)$$

За формулою (32.5) можна підрахувати потужність машини в даний момент часу. Більш потужні машини виконують роботу швидше. Наприклад, потужний двигун дозволяє автомобілю рухатися з більшим прискоренням, що покращує можливості маневрування.

З формули (32.4) можна отримати новий вираз для обчислення роботи:

$$A = P \cdot t, \quad (32.6)$$

який справедливий, коли потужність машини постійна впродовж часу t .

Якщо побудувати **графік залежності потужності від часу** (при постійній потужності), то стає очевидним, що площа під графіком дорівнює роботі (мал. 32.5).

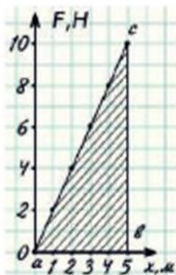
Приклад 32.3

Електролічильник (мал. 32.6) визначає споживану енергію в кВт·год. Що це за фізична величина?

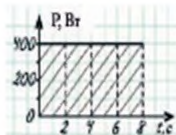
Розв'язання: Згідно формули (32.6) – це робота. Виразимо кВт·год. в Дж:

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год.} = 1000 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж.}$$

Відповідь: 1 кВт·год. дорівнює роботі 3 600 000 Дж, або 3,6 МДж.



Мал. 32.4.
Робота по відношенню до шляху чисельно дорівнює площі трикутника abc



Мал. 32.5.
Площа під графіком $P(t)$ чисельно дорівнює роботі



Мал. 32.6.
Електролічильник.

Підведемо підсумки

- Механічна робота дорівнює добутку сили на величину переміщення: $A = F \cdot s$.
- Коли сила діє в протилежному до переміщення напрямі, то її робота вважається від'ємною.
- Якщо сила направлена перпендикулярно до переміщення, то її робота дорівнює нулю.
- Потужність дорівнює відношенню роботи до часу, впродовж якого ця робота була виконана: $P = \frac{A}{t}$.
- Робота змінної сили може бути обчислена за площею під графіком $F(t)$.



Вправа 32

1. За якої умови формула роботи дає вірний результат?
2. Який фізичний зміст одиниці роботи Дж?
3. У яких випадках сила не виконує роботу?
4. У яких випадках сила виконує від'ємну роботу?
5. Робота якої сили від'ємна?
6. За якою формулою обчислюють роботу сили тяжіння?
7. Як можна обчислити роботу сили, яка змінюється за величиною?
8. Як називають фізичну величину, що характеризує швидкість виконання механічної роботи?
 9. Як можна обчислити роботу, знаючи потужність і час роботи?
 10. Як можна обчислити роботу, знаючи силу тяги машини та її швидкість?
 11. Перелічіть три різних способи розрахунку роботи.
 12. У чому полягає вигода від використання потужних машин?
 13. Чи виконує роботу людина, яка тримає в руці важку валізу?
 14. Яку роботу виконує сила 10 Н, яка переміщує тіло на віддаль 5 м?
 15. Яку роботу треба виконати, щоб ящик масою 40 кг рівномірно перемістити на 2 м по горизонтальній підлозі? Сила прикладається в напрямі переміщення. Коефіцієнт тертя ящика об підлогу становить 0,6. $g = 10 \text{ Н/кг}$.
 16. М'яч масою 100 г підкинули на висоту 5 м. Знайдіть роботу сили тяжіння при русі м'яча: а) вгору; б) вниз.
 17. Яку роботу треба виконати, щоб підняти з канави глибиною 5 м на поверхню бетонну брилу об'ємом 0,6 м³? Густина бетону 2600 кг/м³.
 18. Знайдіть роботу, яку треба виконати, щоб видовжити пружину жорсткістю 400 Н/м на 0,02 м.
 19. Як змінюється потужність двигуна автомобіля при натисканні на педаль газу?
 20. Поясніть за допомогою формули (24.8), чому на крутому підйомі необхідно переключитися на понижену передачу?
 21. Яка потужність двигуна, що виконує роботу 3 600 Дж за 1 хвилину?
 22. Підйомний кран підняв вантаж 5 т на висоту 16 м за 1 хвилину. Яка потужність двигуна крана?

23. Обчисліть роботу двигуна за графіком потужності, наведеним на мал. 32.5: а) за 4 с; б) 8 с.

24. Бетонний блок об'ємом 2 м^3 підняли під водою на висоту 1 м. Обчисліть виконану роботу. Густина бетону 2600 кг/м^3 .

§ 25. МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ ТА ЇЇ ВИДИ

Поняття енергії

Поняття енергії – одне з найважливіших не тільки у фізиці. Від кількості виробленої енергії і способу її отримання залежить якість нашого життя. Згадаємо такі вирази, як теплова енергія, енергетична криза, плата за електроенергію, енергійна людина, об'єднані енергетичні системи.

Ми звикли, що енергія – це певний ресурс, що дозволяє поліпшити добробут. Виробництво і розподіл енергії зачіпає всі сторони життя людини. Тому треба знати, як вона виробляється, передається та зберігається.

Ось деякі властивості енергії:

1. Тіло може мати, отримувати і віддавати енергію. 2. Існує багато видів енергії (механічна, теплова, електрична...) і вона може переходити з одного виду в інший. 3. За певних умов енергія може зберігатися.



Мал. 33.1.

Використання енергії вітру

Механічна енергія

Тіло має енергію, якщо воно може виконати роботу. Щоб мати енергію, немає необхідності здійснювати роботу, досить мати таку можливість.

Величина енергії дорівнює найбільшій роботі, яку тіло може виконати за даних умов. Як і робота, енергія вимірюється в Дж.

Є два види механічної енергії: потенціальна і кінетична. Позначимо енергію літерою E . Ніякий індекс (значок) у виразах для енергії біля літери E означатиме: «к» – кінетична, «р» – потенціальна.

Кінетична енергія

Кінетична енергія (E_k) – це енергія тіл, що рухаються («кінема» грецькою означає «рух») – це може бути енергія вітру, потоку води, обертова енергія масивного маховика. Підрахувати кінетичну енергію можна за формулою:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad (33.1)$$

де « m » – маса тіла, а « v » – його швидкість.

Тіло, яке бере участь одночасно в двох рухах – поступальному і обертовому – має дві кінетичні енергії, як наприклад, колесо автомобіля (мал. 33.2). Поступальний рух центра колеса відбувається зі швидкістю автомобіля, а обертова швидкість збільшується від нуля (центр) до швидкості автомобіля (на рівні протектора шин). Можливо, ви бачили у фільмах, як продовжують крутитися колеса в автомобіля, що перевернувся – поступальної енергії вже немає, а обертова ще є.



Мал. 33.2.

Колесо автомобіля має дві кінетичні енергії – обертову і поступальну

Приклад 33.1

Порівняйте кінетичні енергії а) легкового автомобіля масою 1 500 кг, який рухається зі швидкістю 72 км/год. та б) снаряду масою 3 кг, що летить зі швидкістю 500 м/с.

Розв'язання. а) Швидкість автомобіля 72 км/год. = 20 м/с. Кінетична енергія автомобіля: $E_{k1} = \frac{1500 \text{ кг} \cdot 400 \text{ м}^2 / \text{с}^2}{2} = 300\,000 \text{ Дж}$, або 300 кДж.

Пояснимо, як отримали Дж: $\text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2 = (\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2) \cdot \text{м} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}$.

б) Снаряд: $E_{k2} = \frac{3 \text{ кг} \cdot 250\,000 \text{ м}^2 / \text{с}^2}{2} = 375\,000 \text{ Дж}$, або 375 кДж.

Зауваження. Зверніть увагу, що маса снаряду у 500 разів менша за масу автомобіля, в той час як його швидкість більша лише у 25 разів. Однак кінетична енергія снаряду виявилася більшою, оскільки вираз $\frac{m \cdot v^2}{2}$ сильніше залежить від швидкості (v^2), аніж від маси (m).

Кінетичну енергію вітру використовують дуже давно. В наш час модернізовані вітряки виробляють значну кількість електрики (мал. 33.3). Електротранспорт перетворює частину своєї енергії руху в електрику, коли зменшує швидкість перед зупинкою.



Мал. 33.3.

Кінетичну енергію вітру перетворюють в електрику

Потенціальна енергія

Потенціальна енергія тіла (E_p) – це енергія можливості (з англ. *potential* – потенціал, можливість). Таку енергію мають нерухомі тіла внаслідок взаємодії і взаємного розташування.

Потенціальна енергія тяжіння. Розглянемо нерухоме тіло масою « m », яке знаходиться на висоті « h » (мал.25.4-26.1). На це тіло діє сила

тяжіння « mg », і якщо надати тілу можливість впасти, то ця сила виконає роботу $A = mg \cdot h$. Оскільки запас енергії дорівнює найбільшій роботі, яку тіло може виконати за даних умов, то **енергія тіла, що знаходиться на деякій висоті над землею, становить:**

$$E_p = mgh. \quad (33.2)$$

Тіло, перебуваючи на деякій висоті « h », має енергію вже тільки тому, що воно притягується Землею і може впасти. Тіло, яке лежить на підлозі, не має потенціальної енергії відносно підлоги, хоча на нього діє сила тяжіння. Зауважимо, що початок відліку висоти « h » може бути різним, тому про потенціальну енергію тяжіння можна говорити лише по відношенню до вибраного початкового (нульового) рівня.

Якщо тіло знаходиться нижче нульового рівня, наприклад у ямі, то його **потенціальна енергія від'ємна**. Це означає, що за рахунок цієї енергії тіло не може виконати роботу. Вільше того, щоб підняти тіло з ями на поверхню, прийдеться комусь виконати від'ємну роботу.

Потенціальною енергією люди також користуються з незапам'ятних часів. Згадайте водяні млини або старовинні годинники з гириями. Коли будують гідроелектростанцію (ГЕС), то річку перекривають греблею, щоб підняти рівень води (мал. 33.5). Падаючи вниз, вода обертає турбіни генераторів і виконує роботу. Чим вища гребля і чим більше води несе ріка, тим більше електроенергії виробляє ГЕС.

Приклад 33.2

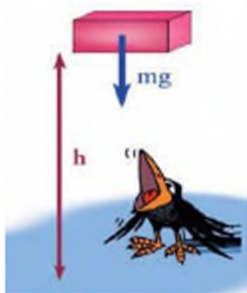
Яку масу має тіло, підняте на висоту 20 м, якщо його потенціальна енергія становить 300 кДж?

Розв'язання. Очевидно, що мова йде про потенціальну енергію тяжіння, тому $E_p = mgh$.

$$\text{Звідси: } m = E_p / (gh) = 300\,000 \text{ Дж} / (10 \text{ Н/кг} \cdot 20 \text{ м}) = 1\,500 \text{ кг}.$$

Відповідь: маса тіла дорівнює 1 500 кг або 1,5 т.

Зауваження. 300 кДж – це кінетична енергія автомобіля з прикладу 33.1. Цікаво, що якби автомобіль на якомусь трампліні підстрибнув вертикально вгору, а його кінетична енергія повністю перейшла в потенціальну, то він зміг би піднятися на висоту 20 м.



Мал. 33.4.

Потенціальну енергію тяжіння тіло має вже тому, що притягується Землею і знаходиться на певній висоті



Мал. 33.5.

Енергія піднятої греблею води

Потенціальна енергія пружно деформованого тіла

Якщо видовження пружини жорсткості « k » становить « x », то вона може виконати роботу $A = \frac{1}{2} \cdot F \cdot x$ (або $A = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$), за умови, що пружині буде надана можливість повернутися в недеформований стан. Отже потенціальна енергія деформованої пружини становить:

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot F \cdot x \text{ або } E_p = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2, \quad (33.3)$$

де « F » – сила, яка утримує пружину у видовженому на « x » стані.

Накручуючи пружину механічного годинника, ми надаємо їй запас потенціальної енергії, яка потім витратиться для приведення в рух механізму і стрілок. Годинник зупиниться після того, як пружина знову розпрявиться і витратить свою енергію.

Повна механічна енергія

Тіло може одночасно мати декілька видів механічної енергії, як потенціальної, так і кінетичної. Повна механічна енергія « E » тіла дорівнює сумі поступальної і обертальної кінетичних енергій, а також потенціальних енергій пружної деформації та тяжіння:

$$E = E_{K \text{ пост.}} + E_{K \text{ оберт.}} + E_{P \text{ тяж.}} + E_{P \text{ пруж.}}. \quad (33.4)$$

Приклад 33.3

Літак масою 30 т летить на висоті 10 000 м зі швидкістю 720 км/год. Обчисліть його повну механічну енергію. $g = 10 \text{ Н/кг}$.

Дано:

$$h = 10\,000 \text{ м}$$

$$v = 720 \text{ км/год.}$$

$$g = 10 \text{ Н/кг}$$

$E = ?$

Розв'язання. Літак має поступальну кінетичну енергію і потенціальну енергію тяжіння. Отже, повна механічна

енергія становить: $E = \frac{m \cdot v^2}{2} + mgh$,

Перетворимо швидкість літака в одиниці СІ:
720 км/год. = 200 м/с.

$$E = \frac{30\,000 \text{ кг} \cdot (200 \text{ м/с})^2}{2} + 30\,000 \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг} \cdot 10\,000 \text{ м} =$$

$$= 600\,000\,000 \text{ Дж} + 3\,000\,000\,000 \text{ Дж} = 3\,600 \text{ МДж}$$

Відповідь: повна механічна енергія літака дорівнює 3 600 МДж.

Підведемо підсумки

- Енергія – це можливість тіла виконати роботу. Величина енергії дорівнює найбільшій роботі, яку тіло може виконати за даних умов.

- Є два види механічної енергії – кінетична (енергія рухомих тіл) і потенціальна (енергія можливості).
- Кінетична енергія обчислюється за формулою: $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$
- Потенціальна енергія: тяжіння: $E_p = mgh$; пружної деформації: $E_p = \frac{1}{2} \cdot F \cdot x$, або $E_p = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$.
- Повна механічна енергія «Е» тіла дорівнює сумі кінетичної і потенціальної енергій.



Вправа 33

1. За якої умови тіло має енергію?
2. Який вид енергії мають: а) тіло, підняте на деяку висоту; б) деформоване тіло; в) рухоме тіло?
3. Яку роботу треба виконати, щоб: а) тіло маси «m» підняти на висоту «h», б) пружини жорсткості «k» надати видовження «x», в) тілу маси «m» надати швидкість «v»?
4. Які види механічної енергії має літак, що летить?
5. Як обчислюють повну механічну енергію?
6. На однаковій висоті знаходяться залізне та алюмінієве тіло однакового об'єму. Яке з них має більшу потенціальну енергію?
7. Який вид енергії мають: а) вітер, б) піднята греблею вода, в) вода, що падає на лопаті турбіни ГЕС?
8. Як можуть два тіла різної маси мати однакову кінетичну енергію?
9. Чому важко бігати по піску?
10. Швидкість тіла зростає у п'ять разів. У скільки разів збільшилася його кінетична енергія?
11. Чим відрізняється потенціальна енергія люстри, обчислена відносно стола і відносно підлоги?
12. Видовження однієї із двох однакових пружин утримі більше, ніж іншої. У скільки разів відрізняються їх потенціальні енергії?
13. Дві пружини різної жорсткості розтягнуті однаково. У скільки разів відрізняються їх потенціальні енергії?
14. Тіло масою 4 кг знаходиться на висоті 10 м. Обчисліть енергію цього тіла.
15. Тіло масою 8 кг рухається зі швидкістю 18 км/год. Обчисліть енергію цього тіла.
16. Пружина жорсткістю 150 Н/см стиснута на 4 см. Який запас енергії пружини?
17. Гелікоптер масою три тонни піднявся на висоту 200 м. Яку роботу виконали його двигуни і на що вона витрачена? $g = 10 \text{ Н/кг}$.
18. Якою буде потенціальна енергія пружини динамометра, якщо її розтягнути від нульової відмітки до позначки: а) 1 Н, б) 2 Н? Жорсткість пружини 200 Н/м.
19. Пружину спочатку видовжили з недеформованого стану до позначки 10 Н, а потім до позначки 20 Н. а) У скільки разів робота в другому випадку більша, ніж в першому? б) Розв'яжіть задачу також за допомогою графіка.

§ 34. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Перетворення енергії

Перетворення енергії з одного виду в інший постійно відбуваються в природі і техніці. Перекриваючи ріку греблею гідроелектростанції, добивається того, що вода піднімається на значну висоту і набуває величезної потенціальної енергії.

Падаючи вниз, вода збільшує свою кінетичну енергію, за рахунок якої вона обертає лопаті гідротурбін. Ті у свою чергу обертають електрогенератори, які виробляють електричну енергію.

Розглянемо для прикладу падіння м'ячика з певної висоти (мал. 34.1). Коли м'ячик опускається, його потенціальна енергія зменшується, швидкість зростає, а з нею зростає і кінетична енергія. Біля самої землі потенціальна енергія зменшиться до нуля і повністю перейде в кінетичну, яка досягне свого найбільшого значення. Далі кінетична енергія почне переходити в енергію пружної деформації м'ячика, який стискається...



Мал. 34.1.

Перехід потенціальної енергії м'яча в кінетичну енергію

Закон збереження енергії



Мал. 34.2.

Потенціальна енергія деформованого лука перейшла у кінетичну енергію стріли, яка в свою чергу перейшла у потенціальну енергію тлжіння

Численні й досить точні досліди показали, що кінетична енергія збільшується рівно настільки, наскільки зменшується потенціальна, якщо тільки можна знехтувати роботою сили тертя, тобто сума потенціальної і кінетичної енергії залишається постійною (зберігається) при відсутності сили тертя. Іншими словами, повна механічна енергія тіла зберігається, якщо на тіло не діють сили тертя, або якщо вони малі і ними можна знехтувати.

Якщо $E_1 = E_{K1} + E_{P1}$ – повна механічна енергія тіла в одному стані, а $E_2 = E_{K2} + E_{P2}$ – в іншому стані, то $E_1 = E_2$, тобто енергія зберігається за умови відсутності дії сил тертя.

Приклади розв'язування задач на застосування закону збереження енергії

Приклад 34.1

Швидкість стріли під час вистрілу з лука (мал. 34.2) становить 20 м/с. На яку найбільшу висоту вона може піднятися? $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Дано:

$$v = 20 \text{ м/с}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$h - ?$

Розв'язання. За нульовий рівень потенціальної енергії вибираємо місце вистрілу. У такому випадку на момент вистрілу тіло мало лише кінетичну енергію і його повна енергія становить $E_1 = \frac{m \cdot v^2}{2}$.

При досягненні найвищої точки швидкість тіла стала рівною нулю і повна енергія складається тільки з потенціальної: $E_2 = mgh$.

Сила тертя об повітря мала і нею можна знехтувати, тому $E_1 = E_2$,

$$\text{що дає: } \frac{m \cdot v^2}{2} = mgh. \text{ Звідси } h = \frac{v^2}{2g} = \frac{400 \text{ м}^2/\text{с}^2}{2 \cdot 10 \text{ м/с}^2} = 20 \text{ м}.$$

Відповідь: За умови відсутності тертя, стріла може піднятися на висоту 20 м.

Обговорення результатів. а) Висота 20 м була досягнута за умови відсутності тертя (тобто втрат енергії). Реально, висота підйому буде дещо меншою. б) Маса тіла в процесі обрахунків скоротилася, це означає, що тіло довільної маси, якому надали швидкості 20 м/с, досягне висоти 20 м. Якщо цей факт вас дивує, то спробуйте вирішити цей парадокс.

Приклад 33.2

Тіло масою 3 кг падає з висоти 8 м. Якою буде його швидкість в момент торкання поверхні? $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Розв'язання. Подібно до попередньої задачі, $mgh = \frac{m \cdot v^2}{2}$, звідки: $v^2 = 2gh$, $v^2 = 2 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 8 \text{ м} = 160 \text{ м}^2/\text{с}^2$, $v = 16 \text{ м/с}$.

Відповідь: тіло досягне швидкості 16 м/с.

Приклад 33.3

Іграшковий пружинний пістолет, жорсткість пружини якого 1 Н/см, зарядили кулькою масою 20 г і стиснули пружину на 10 см. З якою швидкістю вилетить кулька при пострілі?

Розв'язання. Перш ніж розв'язувати задачу, треба привести одиниці

вимірювання в систему СІ: $1 \text{ Н/см} = 100 \text{ Н/м}$, $20 \text{ г} = 0,02 \text{ кг}$, $10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$.

Енергія стисненої пружини становить $E_1 = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$, коли пружина ви-

прямилась, то потенціальна енергія деформації пружини перейшла

в кінетичну енергію кульки, яка дорівнює $E_2 = \frac{m \cdot v^2}{2}$. Згідно із зако-

ном збереження енергії, повинна виконуватися рівність $E_1 = E_2$, тобто

$$\frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 = \frac{m \cdot v^2}{2}. \text{ Звідси: } v^2 = \frac{k \cdot x^2}{m}, v^2 = \frac{100 \text{ Н/м} \cdot 0,01 \text{ м}^2}{0,02 \text{ кг}} = 50 \text{ м}^2 / \text{с}^2,$$

$$v \approx 7 \text{ м/с}.$$

Відповідь: кулька матиме швидкість приблизно 7 м/с .

Енергія і робота

Нагадаємо, що роботу можна обчислити:

1. За формулою $A = F \cdot s$, якщо сила постійна. 2. За графіком сили – як площу під графіком.

3. Через потужність, як $A = P \cdot t$. Виходячи з визначення енергії, можна ще одним способом обчислювати роботу: 4. **Робота сили дорівнює зміні енергії тіла, яку вона спричинила.**

Якщо повна енергія тіла збільшується, то це означає, що якась сила виконує позитивну роботу. Тоді **збільшення повної енергії тіла дорівнює роботі цієї сили:** $A = E_2 - E_1$. Якщо повна енергія тіла зменшується, то це означає, що якась сила виконує негативну роботу. Сила тертя ковзання, наприклад, виконує від'ємну роботу і тому в рівності $A_{\text{тр}} = E_2 - E_1$: $E_2 < E_1$.

Отже, зміна механічної енергії є наслідком виконання роботи, а виконання роботи призводить до зміни енергії.



Тема для дослідження

34.1. Дослідіть, як відбивається тенісний м'ячик від різних предметів: стола, зошита, вилки, ракетки, камінця на березі річки, тощо. Чи може м'яч підскочити на висоту більшу, ніж та, з якої він впав?

Підведемо підсумки

- Енергія не виникає ні з чого і не зникає безслідно. Вона тільки переходить з одного виду в інший.
- Закон збереження механічної енергії: повна механічна енергія тіла не змінюється, якщо немає втрат на тертя.
- Механічна робота може бути обчислена як зміна повної механічної енергії.



Вправа 34

1. Які перетворення енергії відбуваються при падінні м'яча?
2. За рахунок якої енергії працюють турбіни ГЕС?
3. За яких умов зберігається повна механічна енергія тіла?
4. Якщо повна енергія тіла зберігається, то як змінюється потенціальна енергія тіла при зменшенні його кінетичної енергії?
5. Які способи обчислення механічної роботи ви знаєте?
6. М'яч падає з певної висоти. Як змінюються його: а) кінетична; б) потенціальна; в) повна енергія? Тертям можна нехтувати.
7. Чому м'яч, який упав з деякої висоти на землю і відскочив, уже не може піднятися на попередню висоту?
8. Чому м'яч, який упав у пісок, взагалі не підскакує?
9. Куди поділася потенціальна енергія тижіння м'яча в момент найбільшої деформації при падінні на підлогу (мал. 34.1)?
10. Відомі висота, з якої упав м'яч, його маса і швидкість у момент падіння. Як можна знайти роботу сили тертя об повітря при падінні м'яча?
11. Яку швидкість треба надати м'ячикові, щоб підкинути його вгору на висоту 5 м? $g = 10 \text{ м/с}^2$.
12. Якої швидкості могла б набути краплина дощу, упавши з висоти 2 км, якби не було сил тертя й опору повітря? $g = 10 \text{ м/с}^2$.
13. Пружинний пістолет стріляє кульками масою 5 г. Перед вистрілом пружина жорсткістю 5 Н/см стисається на 10 см. а) Яку енергію має стиснута пружина? б) Яку швидкість має кулька в момент вильоту з дула? в) На яку максимальну висоту можна вистрілити таким пістолетом? $g = 10 \text{ м/с}^2$.
14. Яку роботу треба виконати, щоб натягнути тятиву лука у прикладі 34.1? Маса стріли становить 200 г.
15. Потенціальна енергія тіла при його падінні зменшилась на 20 Дж. На скільки збільшилась його кінетична енергія, якщо вважати, що тертя дуже мале?
16. Автомобіль масою 1,5 т збільшив швидкість з 36 км/год. до 54 км/год. за 5 с. Яку середню потужність розвивав при цьому двигун?
17. Стартують два автомобілі. За один і той самий час після старту перший набрав швидкість, удвічі більшу за швидкість другого. У скільки разів середня потужність двигуна першого автомобіля більша, ніж у двигуна другого автомобіля?
18. Швидкість автомобіля масою 5 тонн, що рухається горизонтальною дорогою, зменшилась з 72 км/год. до 54 км/год. Яку роботу виконала сила тертя?
19. Якій фізичній величині відповідає вираз: $F \cdot s / t$?

§ 35. МОМЕНТ СИЛИ.

УМОВИ РІВНОВАГИ ВАЖЕЛЯ

Важіль – найпростіший і чи не найдревніший механізм, який використовує людина. Ножиці, кусачки, лопата, двері, весло, кермо і ручка перемикачів передач в автомобілі – усі вони діють за принципом важеля.

ля. Вже під час будівництва єгипетських пірамід важелями піднімали камені вагою за десять тонн.

Важіль. Правило важеля

Важелем називають стержень, який може обертатися навколо деякої нерухомої вісі. Вісь O , перпендикулярна до площини малюнка 35.2. На праве плече важеля довжиною l_2 діє сила F_2 , а на ліве плече важеля, довжиною l_1 , – діє сила F_1 . Довжину плечей важеля l_1 та l_2 вимірюють від вісі обертання O до відповідних ліній дії сили F_1 і F_2 .

Нехай сили F_1 і F_2 такі, що **важіль не обертається**. Досліди показують, що в такому випадку виконується умова:

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2. \quad (35.1)$$

Перепишемо цю рівність по-іншому:

$$F_1/F_2 = l_2/l_1. \quad (35.2)$$

Зміст виразу (35.2) такий: у скільки разів плече l_2 довшє за плече l_1 , у стільки ж разів величина сили F_1 більша за величину сили F_2 . Це твердження називають **правилом важеля**, а відношення F_1/F_2 – **виграшем у силі**.

Отримуючи виграш у силі, ми програємо у відстані, оскільки треба сильно опустити праве плече, щоб трохи підняти лівий кінець плеча важеля.

Зате весла човна закріплені в ключинах так, що ми тягнемо за коротке плече важеля, прикладаючи значну силу, але зате отримуємо виграш у швидкості на кінці довгого плеча (мал. 35.3).

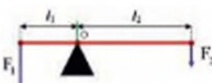
Якщо сили F_1 і F_2 рівні за величиною і напрямом, то важіль буде в рівновазі за умови, що $l_1 = l_2$, тобто вісь обертання знаходиться посередині. Звичайно, ніякого виграшу в силі в цьому випадку ми не отримаємо. Руль автомобіля влаштовано ще цікавіше (мал. 35.4).

Момент сили. Умова рівноваги важеля

Плечем сили l називають **найкоротшу відстань від осі обертання до лінії дії сили**. У випадку (мал. 35.5), коли лінія дії сили F утворює гострий кут з гайковим ключем, плече сили l , менше за плече l_2 у випадку (мал. 35.6), де сила діє перпендикулярно до ключа.



Мал. 35.1.
Інструмент



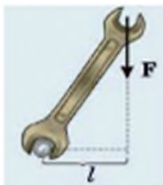
Мал. 35.2.
Важіль



Мал. 35.3.
Весла дають виграш у швидкості



Мал. 35.4.
Скільки важелів ви бачите на цій фотографії?



Мал. 35.5.
Плече і менше

Добуток сили F на довжину плеча l називають моментом сили і позначають літерою M :

$$M = F \cdot l. \quad (35.3)$$

Момент сили вимірюється в Н·м. У випадку (мал.35.6) гайку обернути легше, бо момент сили, з якою ми діємо на ключ, більший.

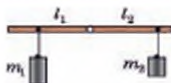
З співвідношення (35.1) слідує, що у випадку, коли на важіль діють дві сили (мал.35.2), умова відсутності обертання важеля полягає в тому, що момент сили, яка намагається його обернути за годинниковою стрілкою ($F_2 \cdot l_2$), повинен дорівнювати моменту сили, яка намагається обернути важіль проти годинникової стрілки ($F_1 \cdot l_1$).

Якщо на важіль діють більше, ніж дві сили, правило рівноваги важеля звучить так: **важіль не обертається навколо нерухомої осі, якщо сума моментів всіх сил, які обертають тіло за годинниковою стрілкою, дорівнює сумі моментів всіх сил, що обертають його проти годинникової стрілки.**

Якщо моменти сил не зрівноважені, важіль обертається в той бік, куди його обертає більший за сумою момент.



Мал. 35.6.
Плече і найбільше



Мал. 35.7.

Приклад 35.1

До лівого плеча важеля довжиною 15 см підвісили вантаж масою 200 г. На якій відстані від осі обертання потрібно підвісити вантаж 150 г, щоб важіль перебував в рівновазі?

Дано:

$$m_1 = 200 \text{ г}$$

$$m_2 = 150 \text{ г}$$

$$l_1 = 15 \text{ см}$$

$$l_2 = ?$$

Розв'язання: Момент першого тягара (мал. 35.7)

дорівнює: $M_1 = m_1 g \cdot l_1$.

Момент другого тягара: $M_2 = m_2 g \cdot l_2$.

Згідно правила рівноваги важеля:

$$M_1 = M_2, \text{ або } m_1 g \cdot l_1 = m_2 g \cdot l_2. \text{ Звідси: } l_2 = \frac{m_1 \cdot l_1}{m_2}.$$

$$\text{Обчислення: } l_2 = \frac{200 \text{ г} \cdot 15 \text{ см}}{150 \text{ г}} = 20 \text{ см}.$$

Відповідь: довжина правого плеча важеля в положенні рівноваги становить 20 см.

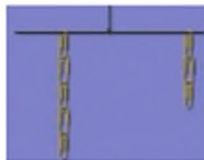


Дослід 35.1

Обладнання: легкий і достатньо міцний дріт довжиною приблизно 15 см, скріпки, лінійка, нитка.

Хід роботи. Надягніть на дріт ниткову петлю. Приблизно посередині дроту затягніть туго петлю. Потім підвісьте дріт на нитці (прикріпивши нитку, скажімо, до настільної лампи). Встановіть рівновагу дроту, пересуваючи петлю.

Навантажте важіль із двох сторін від центру ланцюжками з різної кількості скріпок і добийтеся рівноваги (мал. 35.8). Виміряйте довжини плечей l_1 та l_2 з точністю до 0,1 см. Силу вимірюватимемо в "скріпках". Запишіть результати в таблицю.



Мал. 35.8.
Дослідження
рівноваги важеля

N_1 - скріпок ліва	l_1 , см	N_2 - скріпок права	l_2 , см	$A = N_1 \cdot l_1$, скр. · см	$B = N_2 \cdot l_2$, скр. · см

Порівняйте величини А та В. Зробіть висновок.

Цікаво знати. *Проблеми точного зважування.

Важіль використовують в терезах, і від того, наскільки точно співпадає довжина плечей, залежить точність зважування.

Сучасні аналітичні терези можуть зважувати з точністю до однієї десятимільйонної частини грама, тобто до 0,1 мкг (мал. 35.9). Причому є два різновиди таких терезів: одні для зважування легких вантажів, інші – важких. Перший різновид ви можете побачити в аптеці, ювелірній майстерні чи хімічній лабораторії.

На терезах для зважування великих вантажів можна зважувати вантажі вагою до тонни, але вони залишаються при цьому дуже чутливими. Якщо ступити на таку вагу, а відтак видіхнути повітря з легень, то вона зреагує.

Ультрамикроваги вимірюють масу з точністю до $5 \cdot 10^{-11}$ г (п'ять стомільярдних долей грама!)

При зважуванні на дуже точних терезах виникає багато проблем:

а) Як не старайся, плечі коромисла все одно не рівні.

б) Чаші терезів хоча й мало, але різняться за масою.

в) Починаючи з певного порогу точності, вага починає реагувати на виштовхувальну силу повітря, яка для тіл звичайних розмірів дуже мала.

г) При розміщенні терезів у вакуумі цього недоліку можна позбутися, але при зважуванні дуже маленьких мас починають відчуватися удари молекул повітря, яке повністю відкачати неможливо ніяким насосом.



Мал. 35.9.
Сучасні аналітичні
терези

Два способи підвищити точність нерівноплечних терезів.

1. Метод гарування. Зрівноважимо вантаж за допомогою силючої речовини, наприклад піску. Потім знімемо вантаж і важками зрівноважимо пісок. Очевидно, що маса важків дорівнює істинній масі вантажу.

2*. Метод почергового зважування. Зважимо вантаж на шальці терезів, яка знаходиться, наприклад, на плечі довжиною l_1 . Нехай маса важків, яка приводить до зрівноважування терезів, дорівнює m_x . Потім зважимо цей самий вантаж в іншій шальці, що знаходиться на плечі довжиною l_2 . Одержимо децю іншу масу важків m_1 . Але в обох випадках справжня маса вантажу дорівнює m . В обох зважуваннях виконувалася умова: $m \cdot l_1 = m_x \cdot l_2$ і $m \cdot l_2 = m_1 \cdot l_1$. Розв'язуючи систему цих рівнянь, отримаємо: $m = \sqrt{m_1 \cdot m_2}$.



Тема для дослідження

35.1. Сконструйте терези, на яких можна зважити піщину і опишіть проблеми, з якими ви стикнулися при виконанні цього завдання.

Підведемо підсумки

- Плечем сили l називають найкоротшу відстань від осі обертання до лінії дії сили.
- Моментом сили називають добуток сили на плече: $M = F \cdot l$.
- Важіль не обертається, якщо сума моментів сил, які обертають тіло за годинниковою стрілкою, дорівнює сумі моментів всіх сил, що обертають його проти годинникової стрілки.



Вправа 35

1. В якому випадку важіль дає вигравш у силі?
2. У якому випадку легше закрутити гайку: мал. 35.5 чи 35.6?
3. Чому дверна ручка максимально віддалена від осі обертання?
4. Чому зігнутою в лікті рукою можна підняти більший вантаж, аніж витягнутою?
5. Довгий стержень легше втримувати в горизонтальному положенні, тримаючи його за середину, ніж за кінець. Чому?
6. Прикладаючи силу 5 Н до плеча важеля довжиною 80 см, ми хочемо зрівноважити силу 20 Н. Якою повинна бути довжина другого плеча?
7. *Припустимо, що сили (мал. 35.4) однакові за величиною. Чому вони не зрівноважуються?
8. Який предмет можна зрівноважити на терезах так, щоб із часом рівновага порушилася сама собою, без зовнішніх впливів?
9. *Є 9 монет, одна з них – фальшива. Вона важча за інші. Запропонуйте процедуру, за допомогою якої фальшиву монету можна однозначно виявити за мінімальну кількість зважувань. Важки для зважування відсутні.

10. Чому вантаж, маса якого менша за поріг чутливості терезів, не порушує їх рівноваги?
11. Навіщо точне зважування проводять у вакуумі?
12. У якому випадку точність зважування на важільних терезах не залежатиме від дії сили Архімеда?
13. Як визначають довжину плеча важеля?
14. Як обчислюють момент сили?
15. Сформулюйте правила рівноваги важеля.
16. Що називають виграшем в силі у випадку важеля?
17. Чому весляр береться за коротке плече важеля?
18. Скільки важелів можна побачити на мал. 35.4?
19. Які терези називають аналітичними?
20. Поясніть зміст формули (35.2).



З історії науки. До наших часів дійшла історія про те, як цар Сиракуз Герон наказав побудувати великий трипалубний корабель – трієру (мал. 35.10). Але коли корабель був готовий, виявилося, що його не вдається зрушити з місця навіть зусиллями всіх жителів острова. Архімед придумав механізм, який складався з важелів і дозволив спустити корабель на воду однієї людині. Про це подію розповів римський історик Вітрувій.



Мал. 35.10.
Трієра

§ 36. ПРОСТІ МЕХАНІЗМИ

Складні машини, якими зараз користуються, містять так звані прості механізми. Прості механізми можна розділити на дві групи:

1. Важіль, блок, ворот, лебідка, кабестан, поліспаст – і їх робота зводиться до принципу дії **важеля**;
2. Похила площина, гвинт і клин, роботу яких можна звести до принципу похилої **площини**.

Блок як важіль

Блок – колесо з жолобом і віссю обертання – використовується в кранах (мал. 36.1), екскаваторах, підвісних дорогах тощо. По жолобу рухається трос, який тягне або підтримує вантажі. Якщо вісь блока закріплена, то він називається нерухомим (мал. 36.2), і використовується для **зміни напрямку дії сили**.

У важеля є недолік – він має обмежений простір дії. Повернувши плече важеля на



Мал. 36.1.
Підвісна дорога



Мал. 36.2.
Блок зм'якшує напрям дії сили

деякий невеликий кут, потрібно повернути його в попереднє положення і починати все спочатку. Блок дозволяє зробити процес виконання роботи неперервним. Розглянемо принцип дії нерухомого блока за допомогою мал. 36.3. Сила F , з якою ми діємо на правий кінець троса униз, дозволяє піднімати вантаж угору, і це зручніше, аніж безпосередньо піднімати вантаж.

Сила тяжіння mg зрівноважена направленою вгору силою натягу лівого кінця троса T . Такі самі за величиною сили натягу T діють під дією троса униз на блок. Плечі цих сил (вони вказані оранжевими стрілками) однакові – отже виграшу в силі ми не отримали. Правий кінець троса можна тягнути також убік або горизонтально, в такому випадку блок називають **направляючим**.

Рухомий блок

Розглянемо мал. 36.4. Направлена вгору сила F , яка діє на правий кінець троса, зрівноважена силою натягу троса T , направленою униз. Величина сил натягу в будь-якій точці троса однакова. Дві направлені вгору сили натягу T , що діють на блок, зрівноважують силу тяжіння mg , яка діє на вантаж униз. Отже, **величина сили натягу в тросі вдвічі менша за вагу вантажу**. Прикладаючи силу F , ми отримуємо виграш в силі в два рази.

Якщо тягнути за вісь блока вниз з деякою швидкістю v , то правий кінець троса рухатиметься з вдвічі більшою швидкістю, тобто **рухомий блок можна використовувати і для виграшу в швидкості**.

Можна пояснити виграш в силі, що його дає рухомий блок і по-другому: плече сили F відносно точки O вдвічі більше за плече сили mg .

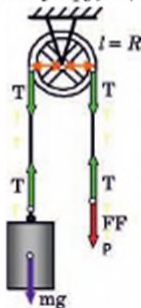
Якщо застосувати багато рухомих блоків, з'єднавши їх у дві групи, то отримаємо **поліспаст** (мал. 36.5). Поліспаст дає багаторатний виграш в силі.

Дослідження велосипеда

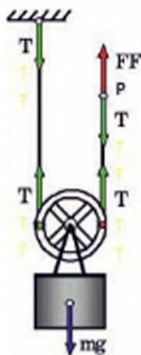


Дослід 36.1

Нехай хтось утримує велосипед, щоб він не перекинувся. Встановить педалі так, щоб одна з них займала найнижче положення. Куди



Мал. 36.3.
Нерухомий блок – це той же важіль



Мал. 36.4.
Рухомий блок дає двократний виграш в силі

почне рухатися велосипед, якщо ви потягнете за цю педаль назад, діючи з силою паралельно дорозі. Дайте спочатку відповідь, міркуючи теоретично, а потім перевірте вашу теорію на досліді.



Темі для дослідження

36.1. Який найбільший вигравш в швидкості можна отримати при передачі зусилля з педалей на ведуче колесо і за яких умов? Отримайте числовий результат на конкретному велосипеді.

36.2. Яким чином зберігає рівновагу велосипедист, коли він їде?



Мал. 36.5.
Посилання

Похила площина

Ви, напевне, бачили, як масивний предмет, який важко підняти (наприклад, шафу), вантажать на машину. Вантаж піднімають по міцній дошці, один кінець якої знаходиться на землі, а інший – опирається на край кузова. Стрічкові транспортери, ескалатори – приклади похилої площини.

Сила, яку треба прикласти до тіла, щоб рухати його вгору по похилій площині (мал. 36.6), тим менша, чим менший кут нахилу площини до горизонту, і вона завжди менша від сили тяжіння $F_{\text{тяж}} = mg$, яка діє на тіло. Важкі кам'яні блоки, з яких будували єгипетські піраміди, тягнули вгору по похилому насипу. Чим вищою ставала піраміда, тим довшим доводилося робити насип.

Різновидами похилої площини є клин, гвинт, лемех плуга, шнек м'ясорубки (далекий нащадок гвинта Архімеда).

Клин

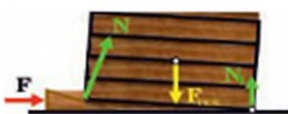
Замість того, щоб тягнути тіло по похилій площині, можна похилу площину рухати під тілом. Так поступають, коли потрібно трохи підняти дуже важкий предмет (мал. 36.7). Чим гостріший клин, тим з меншою силою його треба підбивати (але і тим менший ефект підйому).

Клин під дією не надто великої сили удару молота розпирає половинки колоди, діючи на них із значно більшою силою. Подібним чином сокира чи колун розщеплюють поліно. Ніж є також різновидом клина і чим гострішим він буде, тим легше ним різати.



Мал. 36.6.

Переміщувати тіло по похилій площині легше, ніж підняти вертикально вгору



Мал. 36.7.

Сила N , що піднімає клин, більша, ніж сила F , з якою ми підбиваємо клин

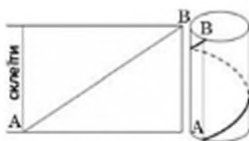
Гвинт

Наступною модифікацією похилої площини є гвинт. Різьба гвинта є похилою площиною, що обвиває циліндр. Нахил такої площини можна зробити дуже малим (за рахунок малого кроку гвинта), а саму площину – дуже довгою.



Дослід 36.2

Накресліть на аркуші паперу для креслень нахилenu пряму АВ, залишивши смугу для склеювання шириною 0,5 см, як вказано на мал. 36.8. Згорніть аркуш в циліндр і склейте його так, щоб точка В опинилася точно над точкою А. Ви переконаєтесь, що пряма АВ перетворилася на спіраль. Крок спіралі (відстань АВ на поверхні циліндру) буде тим менший, чим менший кут, під яким ви провели лінію АВ на аркуші.



Мал. 36.8.

Пряма АВ при згортанні аркуша в циліндр перетворюється на гвинтову лінію



Мал. 36.9.

Шнек м'ясорубки і гвинт струбцини – різновиди похилої площини

Гайка, рухаючись по гвинту болта, може піднімати вантаж, вага якого значно більша за те зусилля, яке прикладають, щоб обернути гвинт чи гайку. Гвинтові підйомники ви можете побачити в автомаїстернях, невеликі гвинтові домкрати є в кожному автомобілі. За допомогою гвинтових пристроїв затискають деталі в лещатах і рухають супорти токарних та фрезерних верстатів. На мал. 36.9 приведені фотографії шнека від домашньої ручної м'ясорубки і струбцини (різновид лещат).

Підведемо підсумки

- Нерухомий блок дозволяє змінити напрям дії сили.
- Рухомий блок дає вииграш в силі.
- Чим менший кут нахилу похилої площини – тим більший вииграш у силі.



Вправа 36

1. Як і для чого використовують нерухомий блок?
2. Чому нерухомий блок не дає вииграшу в силі?
3. Скільки кратний вииграш у силі дає рухомий блок?

4. Чому при будівництві піраміди зі збільшенням висоти доводилося подовжувати на-
сип?

5. На якому виді транспорту в старі часи використовували блоки?
6. Де в практичній діяльності люди використовують клин?
7. Від чого залежить виграш у силі при русі тіла по похилій площині?
8. Що називають «виграшем в силі»? Поясніть відповідь формулою.
9. Який виграш у силі дає поліспаст, зображений на мал. 36.5?
10. Перелічіть прості механізми, які використовуються в трансмісії велосипеда.
11. Поясніть малюнком, чому в процесі їзди змінюється момент сили F , з якою вело-
сипедист тисне на педаль.

12. Поясніть: а) чому переключення на меншу за діаметром зубчатку, зв'язану з за-
днім колесом, дозволяє велосипедисту рухатися швидше; б) чому тепер
треба прикладати більше зусилля, щоб обертати педаль?

13. Чому треба так довго крутити ручку домкрата, щоб хоча б трохи
підняти корпус автомобіля?

14. Які два простих механізми використано в гвинтовому домкраті?

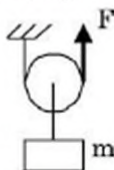
15. *Поясніть, чому гвинт і гвинтовий домкрат є частинними випадками
похилої площини?

16. На поверхні вертикально розташованого циліндра дві точки роз-
містили так, що вони розташовані: а) в одній горизонтальній площині; б)
на одній вертикалі; в) довільним чином. Що являє собою лінія мінімаль-
ної довжини, що сполучає ці точки? Дайте відповідь для кожного з трьох
вказаних випадків.

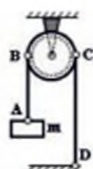
17. Як впливає величина кроку гвинта домкрата на виграш у силі,
який він може дати?

18. *Прикладаючи силу F , за допомогою рухомого блока утримують
тіло масою $m = 10$ кг (мал. 35.10). Яка величина сили F ? $g = 10$ Н/кг.

19. *Тіло маси $m = 500$ г перебуває в рівновазі (мал. 35.11). Маса
блока $M = 100$ г. Маса нитки значно менша за масу тіла і блока. З якою
силою і в якому напрямі нитка діє: а) на тіло m ? б) на підлогу в точці D?
в) Яка вага тіла m ? г) З якою силою та в якому напрямі (вгору чи вниз)
нитка діє на блок в точці B та C? З якою силою і в якому напрямі підвіс
блока діє на
стелю? $g = 10$ Н/кг.



Мал. 35.10.



Мал. 35.11.

§ 37. КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ МЕХАНІЗМІВ (ККД)

В більшості пристроїв, машин і механізмів відбувається передача і
перетворення енергії. Для характеристики цих машин з точки зору їх
корисності вводиться коефіцієнт корисної дії.

ккд

Коефіцієнтом корисної дії машини або механізму (скорочено
– ККД) називають **помножене на 100% відношення корисної ро-**

боти ($A_{\text{затр}}$), яку виконує машина, до всієї енергії, затраченої на виконання цієї роботи ($A_{\text{кор}}$):

$$\text{ККД} = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{затр}}} \cdot 100\% \quad (37.1)$$

Приклад 37.1

Максимальний коефіцієнт корисної дії лампи розжарення становить 5 %. Це означає, що із 100 % споживаної електроенергії у світло перетворюється 5 %, а решта перетворюється в тепло.

Нехай за допомогою похилої площини ми підняли певний вантаж маси « m » на висоту « h ». Корисна робота полягає в піднятті вантажу на певну висоту h і становить: $A_{\text{кор}} = mgh$. Але робота була затрачена не тільки по підняття вантажу, але й на подолання сили тертя ковзання при русі по площині. Отже, затрачена робота дорівнює: $A_{\text{затр}} = A_{\text{кор}} + |A_{\text{тр}}|$. Робота тертя взята за модулем, оскільки вона від'ємна.

Затрачена робота завжди більша за корисну, тому ККД реальної машини не може досягти 100%, а тим більше перевищити його. Бажаємо, і це завдання величезної економічної ваги, домогтися того, щоб затрати на виконану роботу не набагато перевищували корисну роботу, тобто щоб ККД машин був якомога вищим. У таблиці 37.1 наведено дані про ККД деяких машин і пристроїв.



Мал. 37.1.
Моштиний зал
гідроелектростанції



Мал. 37.1.
Лопаті гідротурбіни

Таблиця 37.1.

Коефіцієнти корисної дії деяких машин та механізмів, %

Сонячна батарея	до 6 – 40	Паливний елемент	до 85
Мукулум	14 – 27	Гідротурбіна	до 90
Холодильник	40 – 50	Електродвигун	до 99
Газова турбіна	до 40		
Дизельний двигун	до 50	Лампа розжарювання	0,7 – 5
Парова турбіна	до 60	Лампа денного світла	до 15
Вітрогенератор	до 60	Світлодіоди	до 35

Приклад 37.2

Користуючись мал. 36.6, отримайте формулу для розрахунку ККД похилої площини.

Розв'язання: Корисна робота при застосуванні похилої площини полягає в тому, щоб підняти тіло на висоту h . Отже, $A_{\text{кор.}} = mgh$. Затрачена робота дорівнює: $A_{\text{затр.}} = F_2 \cdot L$. Таким чином, $\text{ККД} = \frac{mgh}{F_2 \cdot L} 100\%$.

«Золоте правило» механіки

Нехай важіль під дією сил F_1 та F_2 знаходиться в рівновазі. Це означає, що:

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2 \quad (37.1)$$

Повільно повернемо важіль у напрямку дії сили F_2 на деякий невеликий кут. Кінець важеля при цьому опише дугу довжиною s_2 . Інший кінець важеля опише дугу довжиною при цьому опише дугу довжиною s_1 (мал. 37.3). При цьому сили F_1 та F_2 повинні постійно діяти перпендикулярно до важеля. Оскільки обидві частини важеля повернулися на один і той же кут, а кінці описали дуги радіусами l_1 та l_2 , то виконується рівність:

$$l_1 \cdot s_1 = l_2 \cdot s_2 \quad (37.2)$$

Це означає, що довге плече описує й довшу дугу. Із рівностей (37.1) та (37.2) слідує, що:

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2 \quad (37.3)$$

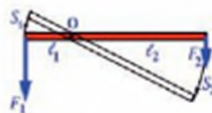
Рівність (37.3) означає, що робота сили F_1 дорівнює роботі сили F_2 . Отже, важіль дає вигравш у силі, але не дає вигравшу в роботі.

«Золоте правило» механіки: вигравши за допомогою деякого механізму в силі, ми обов'язково програємо у відстані (і навпаки).

Вічний двигун – «Perpetuum mobile»

Perpetuum mobile – лат. - вічний рух. Століттями винахідники намагалися винайти конструкцію машини, яка би працювала вічно (мал. 37.4-5), але жодна з них не функціонувала.

Іноколи навіть досить складно розібратися, в чому ж помилявся творець того чи іншого проекту вічного двигуна. Як тільки стало зрозумілим, що закон збереження енергії є універсальним законом природи, наукові установи перестали приймати до розгляду проекти таких

**Мал. 37.3.**

Плече, на яке діє більша сила, описує при повертанні важеля коротшу дугу, тому виконується рівність: $F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$

**Мал. 37.4.**

Проект вічного двигуна

машин, вперше так поступила французька Академія наук у 1848 році.

Вічний двигун першого роду – це машина, яка виробляє енергії більше, ніж на це затрачено енергії. Але ні один з відомих на сьогоднішній день механізм чи машина не дають виграшу в роботі.



Творче завдання

37.1. Яка теоретична межа швидкості руху велосипедиста у відсутності сил опору? Від чого вона залежить?



Мал. 37.5.

Це один проект *perpetuum mobile*

Підведемо підсумки

- Коефіцієнтом корисної дії машини або механізму називають відношення корисної роботи, яку виконує машина, до всієї енергії, затраченої на виконання цієї роботи.
- «Золоте правило» механіки: вигравши за допомогою деякого механізму в силі, ми обов'язково програємо у відстані (і навпаки).
- Згідно закону збереження енергії, неможливо створити вічний двигун першого роду.



Вправа 37

1. Чому затрачена робота завжди більша за корисну?
2. В яких межах знаходиться ККД машин і механізмів?
3. Чи можна за допомогою похилої площини отримати виграш в роботі?
4. Чому французька академія наук відмовилася розглядати проекти «вічних» двигунів?
5. Який двигун називають «вічним двигуном першого роду»?
6. Які машини згідно табл. 37.1 мають найвищий ККД?
7. Які машини найбільш вигідно використовувати?
8. Обчисліть ККД машини, яка затратила 10 000 Дж енергії, виконавши корисну роботу 8 500 Дж.
9. Потенціальна енергія тіла на початку падіння становить 200 Дж. Якою буде кінетична енергія тіла на момент, коли потенціальна енергія становить 75 Дж? Втратами енергії можна нехтувати.
10. Чи вигідно, з точки зору витрат енергії, використовувати похилу площину?
11. Чому ККД вічного двигуна повинен бути більшим або дорівнювати 100%?
12. В якій бік повинен був би обертатися «вічний» двигун, зображений на мал. 37.4?
13. Чому, згідно задуму винахідника, «вічний» двигун, зображений на мал. 37.5, повинен обертатися за годинниковою стрілкою?
14. Яку корисну роботу при затраті 6 000 Дж енергії палива виконає дизельний двигун, ККД якого 40%?
15. Корисна робота, виконана за допомогою певного механізму, дорівнює 200 Дж. Чому дорівнює затрачена робота, якщо робота сили тертя склала 40 Дж?

16. Прикладаючи силу 20 Н до плеча важеля завдовжки 110 см, вдалося підняти вантаж масою 10 кг, прикріплений до другого плеча важеля завдовжки 20 см, на висоту 5 см. Чому дорівнюють: а) корисна робота; б) робота сил тертя; в) ККД важеля? $g = 10 \text{ Н/кг}$.

17. Чому важіль може дати вигравш у силі, але не дозволяє отримати вигравшу в роботі?

18. Чому долати відстань на велосипеді можна швидше і легше, аніж йти пішки?

§ 38. РОЗВИТОК ФІЗИЧНОЇ КАРТИНИ СВІТУ

Незвичність звичайного

Деякі роки тому австрійський парашутист здійснив затьожний стрибок зі стратосфери з висоти 39 км. Оскільки повітря на такій висоті дуже розріджене, то падіння досить довго було майже вільним.

Вільне падіння – дивовижне і не до кінця вивчене явище. По-перше, вільно падаюче тіло нічого не важить – воно знаходиться в стані невагомості. По-друге, і це найдивовижніше – всі вільно падаючі тіла, незалежно від маси, падають однаково, тобто з однаковим прискоренням. Можливо усі ці думки промайнули в голові сміливця, який не побоявся стрибнути вниз майже з космосу, щоб відчути радість вільного польоту.

Гіпотези потрібно перевіряти

У повітрі важчі тіла випереджають легкі і про це свідчить наш повсякденний досвід. Видатний вчений Стародавнього світу Аристотель свого часу висловив гіпотезу, що важчі тіла і у вакуумі падатимуть швидше. Лише через 2000 років італійський фізик Галілео Галілей наважився перевірити гіпотезу Аристотеля. Він став першим в історії вченим, який спробував підтвердити своє припущення про незалежність прискорення вільного падіння від маси тіла за допомогою досліду. Кидаючи різні за масою тіла з похилої Пізанської вежі (мал. 38.2) Галілей помітив, що за умови малої опору повітря тіла різної маси падають практично з однаковим прискоренням.



Мал. 38.1.
Затьожний стрибок



Мал. 38.2.
Падіння тіл різної маси відбувається практично однаково

Відмінність античного мислення від сучасного



Мал. 38.3.

Акведук – античний водовід

Виявляється, люди не завжди досліджували фізичні явища однаково. В античному світі не було прийнято перевіряти гіпотези на досліді, а тільки теоретичними міркуваннями.

Ще одна відмінність – в часи Стародавньої Греції не було місця для вакууму. Розум тодішніх вчених не сприймав пустого простору. Аристотель вважав, що вода слідує за поршнем насосу, тому що природа «боїться» пустоти.

Така теорія не давала можливості будувати систему водопроводу в сьогоднішньому розумінні цього слова. По знаменитих римських акведуках (мал. 38.3) вода текла струмочком по похилому жолобу. Що вода може опускатися в трубі, а потім знову підійматися – не приходило в голову.

Тільки досліди Торрічеллі (мал. 38.4) показали, що існує атмосферний тиск і що він дуже великий. На кожен квадратний метр поверхні діє сила, яку чинив би тягар у 10 тонн. Зверніть увагу, що світ змінюють не тільки нові знання і факти, а й новий спосіб мислення.

Дослідження вільного падіння за допомогою вакуумного насосу

Те, що нам сьогодні здається звичним, колись було дивовижним. Ми вже говорили про те, які цікаві досліди показував своїм співвітчизникам бургомістр міста Магдебург Отто фон Геріке. Він зміг це зробити, користуючись винайденим ним вакуумним насосом.

Біля поверхні землі спостерігати вільне падіння важко – заважає повітря. Але видатний англійський фізик Ісаак Ньютон використав вакуумний насос, щоб викачати повітря з скляної труби і спостерігав, як свинцева дробинка і пір'їнка падали разом. Таким чином Ньютон підтвердив спостереження Галілея: тіла різної маси у стані вільного падіння падають однаково.

Здавалося б, що з вільним падінням вже все ясно, але ще Ньютону, а згодом і Ейнштейна непокоїла загадка маси.

Загадка двох мас

Коли ми не можемо миттєво прискорити чи зупинити тіло, то це тому, що при зміні швидкості починає проявляти себе «інертна маса». Коли важка валіза відтягує нам руку вниз, сигналізує про себе «гравітаційна, тобто важка» маса. Причому обидві маси в кожного тіла однакові. А от цей факт явраз і не очевидний!



Мал. 38.4.

Тиск атмосферний і вакуум

У місті Бремен є лабораторія, в якій досліджують вільне падіння у вакуумній трубі висотою 140 м (мал. 38.5) – це гігантський варіант трубки Ньютона. Її ще називають п'ятисекундною трубою, бо час падіння в цій трубі триває приблизно 5 с.

На що надіються дослідники? Вони сподіваються, вдасться помітити хоч і маленьку, але розбіжність між інертною і гравітаційною масами тіла. Поки що їх зусилля не увінчалися успіхом.

Темна маса

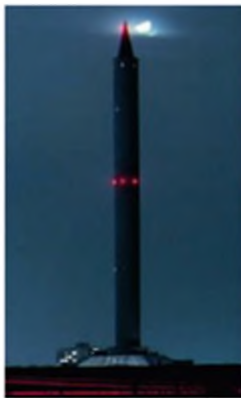
Вчені ще не встигли до кінця розібратися з вільним падінням, а одночасно від астрофізиків і від дослідників у галузі ядерної фізики поступили дані про можливість існування третього різновиду маси, яку поки що називають темною, і яку наявні прилади нездатні сприймати.

Кожен крок уперед в науці дає нові факти і загадки, які починають вивчати вже інші покоління дослідників. Два нанограми протонів в такій супермашині як колайдер вдалося за десять годин розігнати майже до швидкості світла. Але, якщо подумати, то один грам протонів потрібно буде розганяти на протязі мільйонів років – ось такий теперішній стан нашої науки з погляду майбутнього!

Походження Всесвіту

Астрофізики встановили, що Всесвіт розширюється, більшість галактик віддаляються від нас і одна від одної, а швидкість найвіддаленіших об'єктів досягає 240 000 км/с. Це навело вчених на думку, що наш Всесвіт з'явився близько 15 млрд. років тому в результаті гігантського вибуху. Відлуння цього вибуху «звучить» ще й досі, а «почути» його можна за допомогою дуже чутливих антен радіотелескопів (мал. 38.6), які постійно прослуховують космічний простір.

У різних віддалених куточках Всесвіту можна спостерігати народження і загибель зір, а також катастрофи надзвичайного масштабу – вибухи наднових зірок і зітнення цілих галактик (мал. 38.7).



Мал. 38.5.
140 м вежа для дослідження вільного падіння



Мал. 38.6.
Радіотелескопи

Останні досягнення астрофізики



Мал. 38.7.
Зіткнення

свідчить про існування **прихованої («темної») маси**, яку сучасні прилади навіть не здатні сприйняти.

Зорі бувають набагато більшими й гарячішими за Сонце, а бувають і зовсім маленькими й порівняно холодними. Деякі з них стискаються силами тяжіння до такої міри, що один кубічний сантиметр речовини так званої нейтронної зорі важить сто мільйонів тонн. Інші стискаються ще більше і зникають із поля зору, перетворюючись на **«чорну діру»**, яка не випускає зі своєї сфери дії навіть світло. Усі ці надзвичайно цікаві дані отримані за допомогою **спектрометрів і цифрових фотокамер**. Прилади ці працюють цілодобово – як на Землі, так і в космосі.

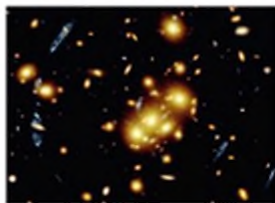
Космічні телескопи

Сучасні системи зв'язку дають змогу отримувати інформацію від різноманітних пристроїв, навіть не виходячи з дому – через систему Інтернет. Саме так з американського космічного телескопа **«Хаббл»** (Мал. 38.9) отримано фотографію галактики М 31.

На орбіті знаходиться і український телескоп **«Астрон-1»**, а космічний апарат **«СІЧ-1М»** досліджує Світовий океан. Ці складні прилади й апарати спроектували українські фізики. Отримана інформація,

Сила тяжіння діє на відстані, але як вона передається від тіла до тіла не зовсім зрозуміло. Гравітаційна сила викликає тільки притягання і ще ніколи не спостерігалось відштовхування. Зараз, завдяки ефекту гравітаційного лінзування (Мал. 38.8), з'явилися дані, які свідчать про прискорене розширення Всесвіту, а це можна пояснити хіба що наявністю **антигравітації і «темної енергії»**.

Обертання краю нашої Галактики відбувається значно швидше, ніж це розраховано за нині наявними формулами, що



Мал. 38.7.
Гравітаційні лінзи, утворені тяжінням віддалених галактик, свідчать про новий вид енергії



Мал. 38.8.
Знімки зроблені космічним телескопом Хаббл дуже чіткі, бо не заважає атмосфера

опрацюється і аналізується. Ось так і з'являються малі й великі відкриття.

Що рухає дослідниками

У наш вік повітряних лайнерів і космічних ракет людей важко чимось здивувати. Але завжди є гідною подиву людська допитливість. Пригадаймо ще раз про те, що першими відірвалися від землі повітряні кулі, які побудували брати Монгольф'є, тому що дуже хотіли літати.

Внизу, біля відкритого отвору кулі, вони розпалили вогонь із соломи і шерсті. Коли повітря всередині розігрілося, куля полетіла і піднялася на висоту 1 000 м, пробувши в повітрі 10 хвилин. Вона приземлилася за півтори милі (2,4 км) від місця старту.

У вересні 1782 року у Версалі відбувся політ подібної кулі в присутності короля і королеви Франції, придворних і послів різних країн. Першими пасажирами були вівець, півень і качка. Політ тривав 23 хвилини, а куля пролетіла 9 км. Посол Росії у Франції Баратинський писав "о поднятти на воздух великой тягости посредством дыма": "Величие сего зрелища и чувствование, какое происходило в нескольких ста тысячах народа, описать никак невозможно, ибо радость, страх, ужас и восторг видимы были на всех лицах".



Ісаак Ньютон (Isaac Newton, 1643–1727)

– англійський фізик і математик. Відкрив закон всесвітнього тяжіння, розклав біле світло на кольори й сформулював три основні закони механіки. Його наукова праця «Основи натуральної філософії» – одна з найвидатніших в історії науки.

Ісаак Ньютон народився 1643 р. в невеличкому англійському селі Вулсторп. У дитинстві любив майструвати різні механічні пристрої, самотужки побудував невеличкий млин. У 12 років його віддали на навчання в міську школу ближнього містечка Грентем. Спочатку він учився посередньо, але в старших класах почав настирливо працювати й став кращим учнем.

Потім Ньютон навчався в Трінті коледжі. І по сьогоднішній день біля входу до воріт коледжу росте яблуня в пам'ять про яблуко, яке «спричинило» відкриття закону тяжіння.

У віці 27 років він став професором Кембриджського університету. Цей університет славиться фізичною і математичною школою й дотепер. У 1668 р. Ньютон сконструював перший дзеркальний телескоп (мал. 38.9), який потім удосконалив. За цей винахід його обрали членом Лондонського королівського товариства (Англійська академія наук). На основі переконливих експериментів з розкладання білого світла на сім складових кольорів він розвинув теорію світла.

У 1688 р. Ньютона обрали членом англійського парламенту, і він два роки провів у Лондоні. Пізніше Ньютона призначили директором Монетного двору Англії (у наш час це посада міністра фінансів). Він провів дуже важливу для країни грошову реформу і досить жорстко боровся з казнокрадами.

У 1703 р. його обрали президентом Лондонського королівського товариства, а в 1705 р. королева Анна вперше в історії Англії надала йому титул дворянина і подарувала маєток.

Ньютон був оригінальною людиною, і про нього розповідають багато цікавих історій. Друзі, які навідували Ньютона, помітили, що хвіртка біля його дому досить важко відкривається. Виявилося, що Ньютон прилаштував до неї вод'яну помпу і кожен відвідувач накачував трохи води в резервуар на горіщі.

Ньютон не любив відволікатися від роботи, і щоб кішка не докучала, просячись до хати, зробив у дверях невеликий отвір. Коли з'явилися кошенята, він зробив ще сім менших отворів, бо кошенята зчиняли страшенний галас, коли кішка пролазила у свій отвір без них.



Мал. 38.9.
Дзеркальний телескоп
Ньютона

§ 39. ВПЛИВ ФІЗИКИ НА СУСПІЛЬНИЙ РОЗВИТОК ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ПРОГРЕС

Увесь навколишній простір заповнений радіохвилями, які приходять до нас не тільки від радіо- і телевізійних станцій, а й з космосу – від галактик і квазарів. На протязі мільйонів і мільярдів років, вдень і вночі. Проте ще 150 років тому ніхто про них нічого не знав, – крім однієї людини – Джеймса Клерка Максвелла, який відкрив існування електромагнітних хвиль.

Від відкриття – до практичного застосування



Цьому радіоприймачу
усього 60 років

Радіомовлення, як ми його тепер розуміємо, існує вже біля 100 років. Таким чином, інопланетні цивілізації, які здатні прийняти радіопередачі земних радіостанцій, повинні знаходитися від нас на відстані, не більшій, ніж 100 світлових років. Ті, що мешкають далі – навіть не підозрюють про наше існування! Це не так вже й далеко, саме на такій відстані потужні телескопи можуть встановити наявність у зорі планет.

Насправді, радіозв'язок здійснюється досить складним способом через систему ретрансляторів, телевізійних супутників і волоконно-оптичних ліній.

Цілком можливо, що в природі існують способи телекомунікації набагато кращі і надійніші, ніж радіохвилі, але ми нічого про них не знаємо.

Усього 50 років назад телевізор міг приймати максимум 12 телевізійних каналів, а реально їх було не більше шести, і якість зображення була не найкраща. Самі телевізійні приймачі були громіздкими, а розміри екранів – маленькими.

Порівняйте з сьогоденними можливостями – тисячі каналів, зображення високої чіткості, 3D-зображення, можливість прийняти сигнал навіть на кишеньковий прилад через Інтернет.



*Цьому телевізору –
50 років*

Прискорення технічного прогресу

Щоб теоретичні знання втілилися в створення парової машини, знадобилося біля 100 років. Шлях радіо – від ідеї до широкого вжитку – також зайняв близько 100 років, фотографії – 110 років. В останні 20 років спостерігається небувале прискорення технічного і технологічного прогресу. Мобільні телефони системи 3G з'явилися біля 10 років назад. П'ять років назад з'явилися айфони, три роки назад – планшети.



*Можливо, через 20 років
цей екран також
викличе посмішку*



Айфон



*Планшети з'явилися
зовсім недавно*

В галузі фотографії сталася справжня революція. Відбувся спочатку перехід до машинного друку фотографій, а згодом – до створення цифрових фотоапаратів і цифрових зображень (мал. 39.1). А ще не так давно фахівці сперечалися, чи вистачить наявних у світі запасів срібла для виготовлення фотоплівок! Основою нових технологій є мікроелектроніка і дослідження в галузі напівпровідникових матеріалів.

Можливості нанотехнологій

Інженерів давно будоражить ідея про космічний ліфт – трос, який зв'яже наземну станцію з геостационарним супутником (мал. 39.2) і за-



Мал. 39.1.

Стрімкий перехід від
плівки до «цифри»

Ще один дивовижний матеріал створено зовсім недавно – аерогель (Мал. 39.4). Цей матеріал міцніший за цеглу і майже такий за густиною, як повітря. Він дуже погано проводить тепло і його можна буде використовувати як ідеальний теплоізолятор.

Роботизація виробництва

В останні десятиріччя відбувається бурхливий розвиток нових галузей механіки, зокрема – робототехніки. Наприклад, сучасне виробництво автомобілів майже повністю роботизоване (Мал. 39.5).



Мал. 39.3.

Вуглецеві нанотрубки
набагато легші і
міцніші за сталь

Багато лабораторій і компаній інтенсивно працюють над створенням роботів, які можуть ходити і самостійно навчатися. Роботи звільнили людей від важкої та одноманітної праці. З'являється все більше заводів, де можна побачити тільки поодиноких інженерів і техніків, які зайняті, в основному творчою роботою. Підвищилася якість продукції, адже роботи не помилюються.

Поява машин зі штучним інтелектом веде до створення надійних систем управління. Вже з'явилися автомобілі, які їздять без водія, а комп'ютерні програми давно обігрують гротмейстерів. Інженери створюють роботів, які до-

мінить дорогі ракети. По цьому тросу, довжиною 36 000 км буде їздити ліфт, який возитиме вантажі на космічну станцію. Донедавна ця ідея відносилася до розряду фантастичних, оскільки сталевий трос рветься під власною вагою вже при довжині 6 км.

Поява у 1991 році вуглецевих нанотрубок (Мал. 39.3) надала винахідникам оптимізму. Новий матеріал втричі легший і в 120 разів міцніший за сталь. Сьогодні нанотрос діаметром 1 мм здатний витримати вантаж 10 т і це не межа.

Багато лабораторій цілеспрямовано створюють матеріали з наперед заданими властивостями, і ця галузь науки набуває промислового розмаху.



Мал. 39.2.

Космічний ліфт



Мал. 39.4.

Аерогель має густину,
як у повітря і міцність
цегли

сліджують інші планети, управляються на відстані і можуть проводити самостійні дослідження (мал. 39.6).

Розвиток досліджень

Історики науки помітили, що більшість відкриттів було зроблено не через безпосередню практичну необхідність, а просто з цікавості.

Насправді відбувається постійна взаємодія між розвитком науки і її застосуванням на практиці. Без конструкторського бюро Антонова не було б у нас таких літаків, а без великого бажання літати – не було б конструкторів.

Україна має значні досягнення в розвитку як практичної так і теоретичної механіки. В нас будують найбільші в Європі та світі літаки (мал. 39.7), космічні ракети, оптичні та радіотелескопи, теплові, атомні та гідроелектростанції.

Складність створених машин та механізмів вимагає уяву (мал. 39.8). Ці галузі науки і техніки потребують великої кількості наукових та інженерних кадрів, які здатні придумати щось нове.

Технічний і науковий прогрес потребує нових ідей

Класична механіка, створена більш як 300 років тому Ісааком Ньютоном, з її абсолютним і непохитним простором і часом в 1905 році зазнала драматичних випробувань з боку нової механіки Альберта Ейнштейна, в якій часом можна керувати, сповільнюючи його майже до нуля при великих швидкостях. Це відкрило принципову можливість мандрівок у майбутнє, і справа тільки за технічним втіленням висновків теорії відносності.

Проте у теорії Ейнштейна є фундаментальне обмеження, яке вже 100 років не дає спокою любителям науки і науковцям – швидкості світла у вакуумі не може досягти ні один об'єкт, крім світла. Але це



Мал. 39.5.

Роботи звільнили людей від важкої та одноманітної праці



Мал. 39.6.

Марсохід



Мал. 39.7.

Щоб чогось досягти – потрібно мріяти



Мал. 39.8.

Турбореактивний двигун сучасного літака містить біля 6000 високотехнологічних деталей

не спинило американського фізика українського походження Олексу-Мирона Біланюка, який створив теорію «тахіонів» – частинок, що можуть рухатися зі швидкістю більшою, ніж світлова. І хоча поки що існування цих частинок не підтверджене експериментами, не виключено, що саме хто-небудь з вас це зробить.

Сучасний стан фізичної науки. Колайдер

В ЦЕРНі на кордоні між Швейцарією і Францією недалеко від м. Женева знаходиться найбільший і найдорожчий на сьогодні фізичний прилад, побудований для дослідження глибоких властивостей матерії. Ця унікальна машина працює за найновішими технологіями. В кільцевому тунелі довжиною майже 27 км і розташованому на середній глибині 100 м знаходяться дві трубки (рис. 39.10), всередині яких рухаються назустріч один одному два пучки протонів. Вакуум у трубках у 10 разів глибший, ніж у космосі.

Протони утримуються на колдовій орбіті 9500 надпровідними магнітами, обмотки яких охолоджені до температури -271°C .



Мал. 39.11.

Цей 140-тонний потяг на швидкості 150 км/год. має таку саму енергію, як дві мільярди долі грама протонів, розігнаних майже до швидкості світла

пошуку бозона Хігса, харківський Інститут монокристалів створив 22 тисячі детекторів з радіаційно стійкої пластмаси. Крім того, Україна поставляє залізо для магнітів і унікальні кристали.



Мал. 39.9.
М'яка посадка
робота-дослідника на Марс



Мал. 39.10.
М'яка посадка
робота-дослідника на Марс

По трубках, в яких знаходяться надпровідні кабелі тече рідкий гелій, який знаходиться у надтекучому стані, а струм у кабелі становить близько 12 000 А (двигуни тролейбуса чи трамвая споживають 200-300 А).

Протони в кількості дві мільярди долі грама прискорюються на протязі десяти годин до швидкості, яка складає 99,9999991 % від швидкості світла. Кільце прискорювача протони проходять 11000 разів за секунду. В результаті ця мізерна за масою кількість частинок набуває енергії, яку має швидкісний потяг масою 140 тонн на швидкості 150 км/год. (мал. 39.11).

Для установки CMS, збудованої для вивчення протон-протонних зіткнень і

За допомогою колайдера вчені вже сьогодні отримують і зберігають **антиречовину** (антиводень), вчать лікувати рак за допомогою протонів і антипротонів, відкрили частинку Хігса (6 липня 2012 р.), намагаються зрозуміти природу темної матерії і темної маси.

ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ IV

- Механічна робота дорівнює добутку сили на величину переміщення: $A = F \cdot s$.
- Потужність дорівнює відношенню роботи до часу, впродовж якого ця робота була виконана: $P = \frac{A}{t}$.
- Енергія – це можливість тіла виконати роботу. Величина енергії дорівнює найбільшій роботі, яку тіло може виконати за даних умов.
- Кінетичну енергію мають тіла, що рухаються. Кінетична енергія обчислюється за формулою: $E_K = \frac{m \cdot v^2}{2}$.
- Потенціальна енергія: тяжіння: $E_p = mgh$; пружної деформації: $E_p = \frac{1}{2} \cdot F \cdot x$, або $E_p = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$.
- Повна механічна енергія тіла дорівнює сумі його кінетичної і потенціальної енергій.
- Закон збереження механічної енергії: повна механічна енергія тіла не змінюється, якщо немає втрат на тертя.
- Плечем сили називають найкоротшу відстань від осі обертання до лінії дії сили.
- Моментом сили називають добуток сили на плече: $M = F \cdot l$.
- Важіль не обертається, якщо сума моментів сил, які обертають за годинниковою стрілкою, дорівнює сумі моментів всіх сил, що обертають його проти годинникової стрілки.
- Нерухомий блок дозволяє змінити напрям дії сили.
- Рухомий блок дає двократний виграш в силі.
- Чим менший кут нахилу похилої площини – тим більший виграш у силі.
- Коефіцієнтом корисної дії машини або механізму називають відношення корисної роботи, яку виконує машина, до всієї енергії, затраченої на виконання цієї роботи.
- «Золоте правило» механіки: вигравши за допомогою деякого механізму в силі, ми обов'язково програємо у відстані (і навпаки).
- Згідно закону збереження енергії, неможливо створити вічний двигун першого роду.

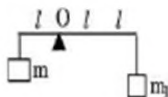
ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ IV

Виберіть правильний варіант відповіді:

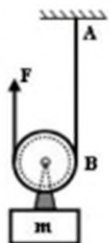
1. Яку роботу виконує сила 20 Н, яка переміщує тіло на відстань 5 м у напрямі дії сили?
А: 4 Дж; Б: 80 Дж; В: 100 Дж; Г: 40 Дж.
2. Яка потужність двигуна, що виконує роботу 2 400 Дж за 2 хвилини?
А: 20 Вт; Б: 1200 Вт; В: 120 Вт; Г: 4800 Вт.
3. Тіло масою 5 кг знаходиться на висоті 4 м. Яка енергія цього тіла?
А: 40 Дж; Б: 10 Дж; В: 20 Дж; Г: 200 Дж.
4. М'яч падає з певної висоти. Як змінюється його повна механічна енергія? Тертям можна нехтувати.
А: збільшується; Б: зменшується; В: не змінюється; Г: неможливо вказати.
5. М'яч впаде з висоти 2 м і підстрибне на висоту 1,5 м. Визначте шлях і переміщення м'яча.
А: 3,5 м і 1,5 м; Б: 0,5 м і 2,5 м; В: 2,5 м і 0,5 м вгору; Г: 2,5 м і 0,5 м вниз.
6. Кінетична енергія тіла при його польоті вгору зменшилась на 100 Дж. Як змінилась його потенціальна енергія, якщо вважати, що тертя дуже мале?
А: зменшилась на 100 Дж; Б: збільшилась на 100 Дж; В: не змінилась;
Г: зменшилась на 50 Дж.

Розв'яжіть задачі

1. Маса тіла $m = 2$ кг. Яка маса тіла m_1 ?
2. Визначте потужність сили 50 Н, під дією якої тіло перемістилось на 4 м за 10 с.
3. Швидкість велосипедиста зменшилась від 5 м/с до 2 м/с. Як змінилась його кінетична енергія? Маса велосипедиста разом з велосипедом дорівнює 80 кг.
4. Прикладаючи силу 25 Н до плеча важеля довжиною 20 см, ми хочемо зрівноважити силу 10 Н. Якою повинна бути довжина другого плеча важеля?
5. Яку корисну роботу виконала машина, якщо затрачена робота становить 2 000 Дж, а її ККД дорівнює 60%?
6. Маса вантажу $m = 5$ кг, маса блока $M = 500$ г, масою нитки можна знехтувати (мал. IV.2). а) Яка сила F потрібна, щоб рівномірно підняти вантаж? З якою силою l в якому напрямі нитка діє: б) на стелю в точці А, в) на блок в точці В?
7. Відро з цементом масою 25 кг піднімають за допомогою нерухомого блока на висоту 5 м, діючи на вільний кінець мотузки униз із силою 250 Н. Запишіть формули для визначення: а) корисної та б) затраченої



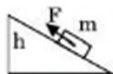
Мал. IV.1.



Мал. IV.2.

роботи. в) Запишіть остаточну формулу для обчислення ККД використаного пристрою. г) Обчисліть числове значення ККД.

9. При рівномірному русі вантажу маси $m = 1\text{ кг}$ по похилій площині (мал. IV.3), до нього прикладають силу $F = 4\text{ Н}$. Визначте ККД похилої площини, довжина якої $l = 1\text{ м}$, а висота $h = 20\text{ см}$. Вважайте, що $g = 10\text{ Н/кг}$.



Мал. IV.3.

10. Знайдіть кінетичну енергію тіла масою 300 г , яке впало з висоти 2 м безпосередньо перед ударом о землю.

11. Яка кінетична та потенціальна енергія стріли масою 50 г , випущеної вертикально вгору зі швидкістю 30 м/с , через 2 с після початку руху?

12. М'ячик зинули вниз з висоти 1 м . Якою була початкова швидкість м'ячика, кинутого вертикально вниз з висоти $1,2\text{ м}$, якщо після відскоку від підлоги він піднявся на висоту $1,5\text{ м}$? Втратами енергії можна знехтувати.

Лабораторна робота №1.

«Ознайомлення з вимірювальними приладами.
Визначення ціни поділки шкали приладу»

Мал. 1.
Лінійка.

приймаємо за одиницю. У випадку лінійки – це 1 см або 1 мм; для мензурки – 1 мл або 1 см³, для термометра – 1°C. Кожен із зазначених вимірювальних приладів має шкалу із поділками. Ціна поділки позначається літерою С, (наприклад: $C_{\text{лінійки}} = 1 \text{ мм}$, $C_{\text{мензурки}} =$, $C_{\text{термометра}} = \dots$).

Позначення внизу біля букви називають індексом. Індекс «лін», наприклад, означає «лінійки», тобто $C_{\text{лін}}$ – ціна поділки лінійки.

Хід роботи.

1. Схема досліду: накресліть ділянку шкали приладу, на якому ви визначаєте ціну поділки. Приклад: (мал. 3).

2. Виберіть на шкалі приладу два різних числових значення. Занесіть в таблицю величину меншого (А), та більшого (В) значень і їх різницю (В – А).

Порахуйте кількість поділок n між позначками, що відповідають значенням В та А і також занесіть в таблицю. Визначте ціну поділки (С) приладу за допомогою формули $C = \frac{B - A}{n}$, (наприклад, на шкалі термометра: А = 20, В = 30, $n = 10$. $C_{\text{термометра}} = 1^\circ\text{C}$).

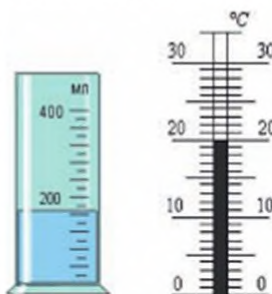
3. Запишіть в таблицю значення одиниці вимірювання кожної фізичної величини, (наприклад: мм, мл, °С).

4. Виміряйте довжину бруска.

5. Напийте воду в мензурку і визначте об'єм води.

6. Виміряйте температуру води.

7. Запишіть виміряні величини в таблицю, (наприклад: V = 120 мл, $t^\circ = 23^\circ\text{C}$).



Мал. 2.
Мензурка.

Мал. 3.
Термометр.

Приклад	Фізична величина	А	В	(В-А)	Одиниця вимірювання	n	С	Значення величини
Лінійка	Довжина							$l =$
Мензурка	Об'єм							$V =$
Термометр	Температура							$t^\circ =$

Висновок.

1. Зазначте, які фізичні величини і якими приладами ви навчилися вимірювати. (Наприклад: в цій лабораторній роботі ми навчилися вимірювати температуру води термометром, ...)

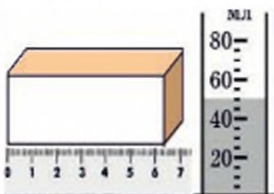
Дайте відповіді на запитання:

1. Які межі вимірювання лінійкою (мал. 1)?
2. Який об'єм води налито в мензурку (мал. 2)?
3. Яку температуру показує термометр (мал. 3)?

Лабораторна робота №2.**«Вимірювання об'єму твердих тіл, рідин і сипких матеріалів»**

Мета роботи: навчитись визначати об'єм твердих тіл, рідин і сипких матеріалів; виконувати вимірювання; виконувати запис результатів в таблицю; оцінювати похибку вимірювання; записувати результати вимірювань в стандартному вигляді.

Прилади і матеріали: лінійка; мензурка; склянка з водою; пісок.



Мал. 1.



Мал. 2.

Хід роботи.

1. Схема досліду: накресліть ділянку шкали приладу, на якій ви визначаєте ціну поділки, (наприклад: мал. 2.)
2. Визначте ціну поділки вимірювальних приладів.
3. Виміряйте довжину, ширину і висоту бруска і обчисліть його об'єм, ($V = a \cdot b \cdot c$).
4. Насипте пісок в мензурку і визначте його об'єм.
6. Визначте об'єм води за допомогою мензурки.

7. Запишіть виміряні та обчислені значення об'єму в таблицю.
8. Визначте похибки вимірювання об'єму води і запишіть їх значення в таблицю, (абсолютна похибка дорівнює половині ціни поділки шкали приладу).

	Прилад	Ціна поділки	Об'єм, см ³	Абсолютна похибка	Відносна похибка, %
Брусок	лінійка				
Пісок	мензурка				
Вода	мензурка				

Висновок.

1. Зазначте, які фізичні величини і якими приладами ви навчилися вимірювати, (наприклад: в цій лабораторній роботі ми навчилися вимірювати об'єм ..., за допомогою лінійки ...)

- Запишіть значення об'єму води в стандартному вигляді, (наприклад: $\Delta V = (90 \pm 5) \text{ см}^3$).
- Перечисліть основні чинники, які вплинули на точність вимірювань.

Дайте відповіді на запитання:

- Яка довжина бруска, зображеного на мал. 1? Результат запишіть в стандартному вигляді.
- Який об'єм налитої в мензурку води (мал. 2)? Результат запишіть в стандартному вигляді

Лабораторна робота № 3**«Вимірювання розмірів малих тіл різними способами»**

Мета роботи: навчитись вимірювати розміри тіл методом рядів.

Прилади і матеріали: лінійка вимірювальна ($C = 1 \text{ мм}$); шпону; дріт; мікрофотографія.

Теоретичні відомості. Розмір малих тіл можна з великою точністю ($0,001 \text{ мм}$) виміряти мікрометром (мал. 1). Проте розміри малих тіл можна виміряти і звичайною лінійкою, якщо цих тіл багато. Це так званий метод рядів.

а) Суть цього способу полягає в тому, що деяка кількість однакових за розміром тіл ($10 - 30$) складають впритул одне до одного в ряд. Вимірявши лінійкою довжину цього ряду l та поділивши l на кількість тіл n , можна визначити діаметр d одного тіла:

$$d = \frac{l}{n}$$

б) Діаметр тонкого дроту можна виміряти, намотавши його на циліндричну паличку, ручку або олівць.

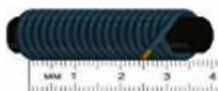
в) Метод рядів можна застосувати для обчислення розмірів атомів на зображеннях, отриманих за допомогою електронного мікроскопа.

Хід роботи.

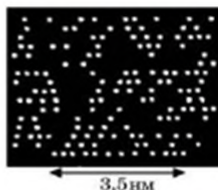
- Накресліть схему досліду, (як на мал. 4).
- Складіть крупишки шпону в ряд вдовж лінійки (мал. 4), і обчисліть їх діаметр d .
- Подібним чином обчисліть діаметр дроту (мал. 2).
- На мікрофотографії (мал. 3), отриманої за допомогою скануючого тунельного мікроскопа (СТМ),



Мал. 1.
Мікрометр.



Мал. 2.
Дріт, намотаний
на стержень



Мал. 3.
Зображення атомів
золота: СТМ



Мал. 4.
Схема досліду з наноам

атоми золота знаходяться на поверхні монокристала графіту в строгому порядку, але не завжди підряд. Ви повинні придумати спосіб якомога точнішого обчислення їх діаметра. Масштаб подано в нм – нанометрах (1 нм становить одну мільярдну долю метра.)

Визначте розміри атомів золота в нанометрах.

5. Визначте абсолютну похибку вимірювань в кожному досліді і запишіть в таблицю.

	Діаметр, d	Одиниця вимірювання	Ціна поділки, С	Абсолютна похибка
Шпона		мм		
Дріт		мм		
Атоми		нм		

Висновок.

1. Поясніть, яку фізичну величину і якими методами ви навчилися вимірювати.

2. Запишіть значення діаметру для усіх вимірювань у стандартному вигляді.

3. Перечисліть основні чинники, які вплинули на точність вимірювань.

Дайте відповіді на запитання:

1. Який діаметр дроту (мал. 2)? Результат запишіть в стандартному вигляді.

2. З якою точністю може вимірювати мікрометр (мал. 1)?

3. Чому атоми золота вишуквалися такими рівними рядами (мал. 2)? Підказка: справа в будові поверхні кристалу графіту.

Лабораторна робота № 4

«Визначення періоду обертання та швидкості руху по колу»

Мета роботи: навчитися визначати період обертання та лінійну швидкість руху тіла по колу.

Прилади і матеріали: штатив, кулька на нитці, секундомір, циркуль, лист паперу формату А4, лінійка.

Теоретичні відомості. Період обертання визначають за формулою:

$$T = \frac{t}{N} \quad (1), \text{ де } t - \text{ час, за який тіло зробило } N \text{ обертів.}$$

Лінійну швидкість руху по колу визначають за формулою:

$$v = \frac{\pi d}{T} \quad (2), \text{ де } d - \text{ діаметр кола, } T - \text{ період обертання.}$$



Мал. 1.

Хід роботи.

1. Накресліть схему досліду.

2. Підвісьте кульку на нитці до штатива.

3. Накресліть на аркуші паперу коло радіусом $R = 10$ см. і розмістіть центр кола під нерухомою кулькою.

4. Штовхніть кульку так, щоб вона рухалася над лінією кола.

5. Визначте час t , за який кулька здійснила певну кількість обертів N .

6. Обчисліть за формулою (1) період обертання кульки T .

7. Обчисліть за формулою (2) швидкість руху кульки v .

8. Запишіть результати вимірювань і обчислень в таблицю.

d, см	t, с	N	T, с	d, см	v, см/с

Висновок.

1. Вкажіть, які фізичні величини ви навчилися вимірювати.

2. Запишіть значення періоду обертання кульки, (наприклад $T = 3,2$ с).

3. Запишіть значення швидкості обертання кульки.

4. Перечисліть основні чинники, які вплинули на точність вимірювань.

Дайте відповіді на запитання:

1. Який рух називають обертальним?

2. Обчисліть за даними досліду частоту обертання кульки.

3*. В даному досліді кулька, як правило, не описує точне коло. Якою, на вашу думку, була траєкторія кульки насправді?

Лабораторна робота №5.

«Дослідження коливань нитяного маятника»

Мета роботи: навчитися визначати період коливань нитяного маятника; дослідити залежність періоду коливань від амплітуди коливань та маси тямарця.

Прилади і матеріали: штатив, нитка; дві кульки різної маси; секундомір.

Теоретичні відомості.

Дослідити залежність між двома величинами означає: вивчити збільшується чи зменшується одна величина, при збільшенні чи зменшенні іншої. Якщо зміна однієї величини не приводить до суттєвих змін іншої величини, то залежності між ними немає. Особливо це помітно, коли зміна даної фізичної величини призводить до випадкових і невеликих змін іншої – в більшу та меншу сторону. Зауважимо, що для таких досліджень потрібна велика кількість дослідів.

Період коливань визначають за формулою: $T = \frac{t}{N}$ (1), де t – час, за який тіло зробило N повних коливань. Одним коливанням називають рух кульки маятника від точки 1 до точки 3 і назад до точки 1, тобто 1-2-3-2-1. Амплітуда A



Мал. 1.

(мал. 1) – це відстань між точками 1 і 2, (або 2 і 3). Довжина нитки – l , маса кульки – m .

Хід роботи.

1. Накресліть схему досліду.
 2. Підвісьте кульку на нитці до штатива.
 3. Виберіть довжину нитки так, щоб відстань від точки підвісу до центру кульки становила 25 см.
 4. Відхиліть кульку в положення 1.
 5. Відпустіть кульку і визначте час t , за який кулька здійснить певну кількість коливань N (нехай $N = 20$ повних коливань).
 6. Обчисліть за формулою (1) період коливань кульки T .
- Обов'язкова умова: амплітуда коливань повинна бути значно меншою за довжину нитки (приблизно в 10 разів, наприклад: при амплітуді 2 см, довжина нитки повинна складати 20 см і більше).

I. Дослідження залежності періоду коливань кульки даної маси від амплітуди коливань:

1. Визначте період коливань для двох значень амплітуди (A_1 і A_2), які відрізняються приблизно в два-три рази.

II. Дослідження залежності періоду коливань з однаковою амплітудою від маси кульки:

1. Визначте період коливань для двох значень маси кульок (m_1 і m_2), які відрізняються приблизно в два-три рази при однаковій амплітуді коливань.
2. Дані дослідів запишіть в одну для обох дослідів таблицю:

Амплітуда	t , с	N	T , с	Маса кульки	t , с	N	T , с
$A_1 =$				$m_1 =$			
$A_2 =$				$m_2 =$			

Висновок.

1. Вкажіть, яку фізичну величину ви навчилися вимірювати.
2. Перечисліть основні чинники, які вплинули на точність вимірювань.
3. Якою виявилася залежність періоду коливань від: **а)** амплітуди коливань при даній масі кульки; **б)** маси кульки при даній амплітуді коливань?

Виберіть один варіант відповіді для кожного дослідження: I - залежить, II - не залежить.

Якщо при збільшенні маси чи амплітуди кульки в два-три рази період змінився слабо, то залежність відсутня. Якщо спостерігається значна зміна періоду при зміні маси чи амплітуди – тоді залежність є, і II треба вказати конкретно, (наприклад: збільшення амплітуди коливань в три рази веде до збільшення (а, можливо, зменшення) періоду в 1,5 разів.

Дайте відповіді на запитання:

1. Наскільки, порівняно з періодом коливань, залежить різниця періодів для

а) двох різних амплітуд, **б)** двох різних мас?

2. Який рух називають коливальним?

3. Обчисліть за даними одного з дослідів частоту коливань кульки. ($\nu = \frac{1}{T}$)

4*. Дослідіть залежність періоду коливань від довжини нитки. Виконайте два досліди в яких довжина нитки відрізняється в 4 рази. Наприклад, використайте, як перший дослід, результат, отриманий при довжині нитки 25 см, а другий раз – при $l = 100$ см. Зробіть висновки. Нагадаємо, що довжину нитки вимірюють від точки підвісу до центру кульки.

СЛОВНИК ДЕЯКИХ ТЕРМІНІВ

- Абсолютний** – повний, досконалий
- Авіаносець** – корабель, на якому розміщені літаки
- Акваланг** – пристрій для підводного плавання
- Акселератор** – прискорювач
- Альтиметр** – прилад для вимірювання висоти
- Амплітуда коливань** – найбільше відхилення (зміщення) від рівноваги
- Аналітичні терези** – дуже точні терези
- Антиречовина** – атоми антиречовини складаються з античастинок
- Артеріальний тиск** – тиск крові в кровоносній системі людини
- Архімед (Archimedes)**
- закон Архімеда
 - сила Архімеда
- Атом** – найменша складова частина речовини
- атомна енергія – енергія, що її добувають при перетворенні атомних ядер
 - атомна одиниця маси – а.о.м.
- Баланс** – рівновага, узгодженість частин.
- Барокамера** – герметичний об'єм, в якому можна створити тиск більший чи менший за атмосферний
- Барометр** – прилад для вимірювання атмосферного тиску
- ртутний барометр
 - барометром-анероїд
- Барограма** – графік зміни атмосферного тиску
- Барограф** – прилад для запису зміни атмосферного тиску з часом
- Батискаф** – пристрій для глибоководного занурення
- Безрозмірна величина** – величина, яка не має одиниць вимірювання
- Бобслей** – різновид санного спорту
- Вакуум** – стан газу при дуже низькому тиску, пустота
- Важіль** – стержень, за допомогою якого можна отримати вигравш у силі чи швидкості
- Важки** – набір гир різної маси
- Ват (Вт)** – одиниця вимірювання потужності
- Ватерлінія** – лінія дотику води з корпусом корабля
- Взаємодія** – дія тіл одне на одне
- Вектор** – направлений відрізок (зі стрілкою)
- Вертикаль** – прямовисна лінія, лінія що напрямлена до центру землі
- Водень** – перший елемент в таблиці Менделєєва, найлегший із газів
- Волоконні лінії** – кабелі, що зроблені з скляних волокон і передають інформацію за допомогою світла
- Всесвіт** – увесь існуючий світ, що нас оточує
- Всесвітня павутинна (www – World Wide Web)**

Гальмівна колодка – пластина з певного матеріалу, що притискається до гальмівного диску колеса автомобіля, коли водій гальмує

Гальмівний диск – диск на автомобільному колесі, до якого притискається гальмівна колодка при гальмуванні

Галактика – зоряне скупчення, що складається з сотень мільйонів зірок, які тримаються разом силами тяжіння

Галілей (Галілео Галілей – Galileo Galilei) – італійський фізик

Гелій – другий елемент таблиці Менделєєва, легкий газ

Геріке (Отто фон Геріке – Guericke, Otto von) – німецький фізик

Герметичний – такий що не пропускає повітря чи воду

Гідравлічний прес – пристрій для створення великої сили тиску

Гідростатичний тиск – тиск нерухомої рідини

Гравітація – тяжіння

Графік – малюнок, що зображає взаємозв'язок двох змінних величин

Гюйгенс (Крістіан Гюйгенс – Huygens Christiaan) – голландський фізик

Далекомір – прилад для вимірювання відстані

Дзига – дитяча іграшка, яка не перекидається при швидкому обертанні

Декарт (Рене Декарт – Descartes, Rene) – французький фізик

Деформація – зміна розміру і форми тіла

Динамік – пристрій для відтворення і підсилення звуку

Динамометр – прилад, що вимірює силу

Дирижабль – літальний апарат з твердою оболонкою, наповненою легким газом

Доба – час, за який планета робить повний оберт навколо своєї вісі (для Землі це 24 години)

Довгота – координата, що її вимірюють в градусах дуги вздовж паралелі відносно нульового (Грінвіцького) меридіану

Дюйм – 1/12 фута, приблизно 2,5см

Жорсткість – назва коефіцієнту у формулі закону Гука

Затяжний стрибок – стрибок, при якому парашутист певний час не відкриває парашут

Зірка – подібні до Сонця кулі, що складаються з розжарених газів (в основному з водню та гелію)

Зміщення – відхилення від положення рівноваги

Експеримент – проба, дослід, в якому перевіряють попередньо зроблені припущення

Еліпс – плоска, замкнута, випукла двофокусна крива лінія.

Електрон – заряджена негативно частинка, що входить до складу електронної оболонки атома

Електризація – процес надання тілу електричного заряду (наприклад, за допомогою тертя)

Електромагнітні хвилі – світло, рентгенівські та гамма-промені, радіохвилі

Електронний мікроскоп – мікроскоп, що використовує для збіль-

шення зображення не світло, а електрони

Ефект – результат, наслідок, фізичне явище

Еталон – зразок, міра, стандарт одиниці вимірювання

Інтенсивний – сильний, значний

Інтернет – засіб зв'язку через телефонні лінії при допомозі комп'ютерів

Інформація – певні дані, відомості

Інфразвук – звук, частота якого менша за 16Гц

Камертон – пристрій для настройки музичних інструментів, еталон частоти

Карбон – елемент № 12 таблиці Менделєєва: вугілля, графіт та алмаз складаються з атомів Карбону

Квантова механіка – механіка руху атомів та атомних частинок, таких як електрони чи протони

Кварки – частинки, з яких складаються протони і нейтрони

Кесонна хвороба – виникає при швидкому підйомі водолаза

Кіловат – одиниця вимірювання потужності

- кВт-год (кіловат-година) – одиниця вимірювання роботи

Кінгстони - цистерни на підводному човні, в які можна набирати воду

Клапан – пристрій, що регулює пропускання газу чи рідини в насосах та інших приладах (сердечні клапани)

Коефіцієнт пропорційності – множник, що входить до складу формул

Коефіцієнт тертя – коефіцієнт пропорційності у формулі для розрахунку тертя ковзання

Коліно манометра – сторона U-подібного манометра

Компактно – коротко, стисло

Компенсувати – зрівноважити дію, звести загальний результат до нуля

Компресор – пристрій для нагнітання повітря

Комунікація – зв'язок, лінія для передачі інформації

Коло - плоска, замкнута, випукла однофокусна крива лінія

Коромисло терезів – рівноплечий важіль до якого підвішені шальки терезів

Космос – позаземний простір

Крейсер – бойовий військовий корабель

Кривошипно-шатунний механізм – механізм, що перетворює коливальний рух в обертальний і навпаки, використовується в автомобільному двигуні, швейній машинці

Критичний – вирішальний, крайній

Круг – частина площини, яка обмежена колом

Лабораторія – приміщення в якому проводяться наукові експерименти

Лазер – квантове джерело випромінювання

Літр – один кубічний дециметр

Логіка – певний строгий спосіб міркування

- Луна** – відбитий перешкодою звук
- Маса** – вимірюється за допомогою важільних терезів. Одиниця вимірювання – кг
- Максимум** – найбільше значення
- Манометр** – прилад, що вимірює тиски, які значно відрізняються від атмосферного
- Масштаб** – відрізок, одиниця вимірювання на малюнку, графіку, карті
- Матерія** – те, з чого все складається
- Матеріальна точка** – об'єкт, що має масу, але не має розмірів
- Машина часу** – фантастичний прилад, засіб подорожування в часі
- Мембрана** – гнучка плівка
- Менделєєв (Дмитро Іванович Менделєєв)** – російський хімік
- Мензурка** – прилад для визначення об'єму рідких та сипучих речовин
- Метеостанція** – метеорологічна станція, слідує за станом погоди
- Метрологічна лабораторія** – місце, де зберігають еталони одиниць вимірювання і встановлюють єдині стандарти вимірювань
- Механічний рух** – переміщення тіла в просторі з перебігом часу
- Мікрограм** – мільйонна частина грама
- Мікрометр** – мільйонна частина метра
- Мілілітр** – тисячна частина літра
- Міліметр** – тисячна частина метра
- Мінімум** – найменше значення
- Модель** – змінена (спрощена) копія реального пристрою чи явища
- Молекула** – складається з декількох атомів, або навіть з одного атома
- молекула ДНК – несе код спадковості живого організму
- Монгольф'є (брати Етьєн і Жан Монгольф'є)** – винахідники повітряної кулі
- Монгольф'єр** – повітряна куля, наповнена гарячим повітрям
- Надпровідність** – стан, при якому струм тече через провідник без опору
- Нейтрон** – нейтральна (така, що не має електричного заряду) частинка, що міститься в ядрі атома
- Нейтронна зірка** – зірка, речовина якої складається з нейтронів
- Наелектризований** – предмет, що набув електричного заряду
- Нерівномірний рух** – рух зі змінною швидкістю
- Нобелівська премія** – висока міжнародна винагорода, започаткована Альфредом Нобелем. Присуджується щорічно, починаючи з 1901 року
- Нормальний тиск** – 760 мм.рт.ст
- Ньютон (Ісаак Ньютон - Isaac Newton)** – англійський фізик
- Ньютон** – одиниця вимірювання сили
- Об'єкт** – предмет, тіло
- Овал** – випукла замкнута плоска крива
- Однорідне середовище** – середовище, всі точки якого мають одна-

кові характеристики, наприклад, однакову густину

Одиниці вимірювання – фізичні величини, яким присвоєні значення, рівні одиниці: 1м, 1с, 1кг...

Озон – газ, молекули якого складаються з трьох атомів кисню, має запах

Орбіта – траєкторія, яку описує планета

Об'єм – число, яке виражає величину області простору, що її займає тіло

Парадокс – твердження, яке здається невірним чи неможливим

Паскаль (Блез Паскаль - Pascal, Blaise) – французький фізик

Паскаль (1Па=1 Н/м²) – одиниця вимірювання тиску

Переміщення – напрямлений відрізок, що з'єднує початкове і кінцеве положення точки

Період коливань – час, протягом якого здійснюється одне повне коливання

Період обертання – час одного оберту

Перпетуум мобіле (Perpetuum mobile) – вічний двигун

Піднімальна сила – різниця сили Архімеда і ваги оболонки з газом повітряної кулі

Плече важеля – найкоротша відстань від осі обертання важеля до лінії дії сили

Площина екліптики – площина, в якій міститься орбіта Землі в її річному русі навколо Сонця

Пневматичні гальма – гальма, що використовують повітря

Пневматичний молоток – пристрій для руйнування асфальту чи бетону

Поздовжня хвиля – хвиля, в якій коливання відбуваються вздовж променя хвилі

Поле – переносник сил і водночас область дії цих сил

Потужність – робота за одиницю часу, швидкість виконання роботи

Похибка – неточність

Приблизно (знак “≈”)

Принцип – основне положення вчення чи теорії

Прискорення – зміна швидкості за одиницю часу, швидкість зміни швидкості

Протон – частинка, що входить до складу атомного ядра, має позитивний електричний заряд, що за величиною дорівнює заряду електрона

Процедура – певний порядок дій

Профіль – обрис, вид збоку

Процес – певний перебіг подій

Прямо пропорційно – збільшення однієї величини веде до збільшення залежної від неї іншої величини в стільки ж разів

Пulверизатор – пристрій, що розпиляє фарбу та інші рідкі речовини

Радіотелескоп – антена (схожа на чашу) і чутливий приймач радіохвиль, застосовують для прийому радіосигналів з космосу

Радіохвилі – електромагнітні хвилі, довжина яких знаходиться в межах від декількох мм до км.

Реакція – зворотна дія

Резервуар – вмістилище для зберігання рідини чи газу

Ресурс – запас, джерело

Рівновага – стан, в якому тіло не рухається

Рівномірний рух – рух з постійною швидкістю

Рівняння – математичний вираз, що містить змінні величини і знак рівності

Рулетка – мірна стрічка

СИ (Sisteme International) – міжнародна система одиниць вимірювання

Синоптик – професія людини, що займається прогнозуванням погоди

Синхронно – разом, одночасно

Сифон – пристрій для переливання рідини

Світловий рік – відстань, що її проходить світло за один рік

Сила – фізична величина, що виражає дію на дане тіло інших тіл, результатом якої є прискорення і деформація

Сонячна система – Сонце і вісім планет, які навколо нього обертаються

Сполучені посудини – посудини, з'єднані так, що рідина може перетікати між ними

Стандарт – норма, еталон

Стратостат – велика повітряна куля, що підіймається в стратосферу

Стратосфера – дуже високі шари атмосфери

Структура – будова, розташування, просторовий склад

Таблиця – спосіб запису даних, список

Таблиця Менделєєва – таблиця хімічних елементів

Танкер – корабель, що перевозить в основному нафту

Телекомунікація – обмін інформацією на відстані (телефон, радіо, телебачення...)

Телескоп – оптичний прилад для проведення спостережень за зірками

Терези – прилад для вимірювання маси

Тертя – явище взаємодії поверхонь двох тіл при русі, чи спробі руху

Теорія – певне уявлення про причини і наслідки спостережуваних явищ

Теорія відносності – показала глибинний зв'язок простору і часу

Термоядерні реакції – реакції утворення важких атомних ядер з ядер легких елементів. Відбуваються в надрах зірок при температурах в сотні мільйонів градусів

Технологія – спосіб виробництва

Тіло відліку – тіло, відносно якого ми відмічаємо свій рух

Тиск – виражає величину сили тиску на одиницю площі поверхні

Тонна – 1 000 кг

Тоннажність – маса води, що її витісняє плаваючий корабель

Торрічеллі (Евангеліста Торрічеллі – Torricelli, Evangelista)
– італійський фізик

Торрічеллієва пустота – вакуум над ртуттю в ртутньому барометрі

Точкове джерело хвиль – джерело, розміри якого малі, порівняно з довжиною хвилі

Траєкторія – лінія, що її описує матеріальна точка в своєму русі

Ультра мікровага – дуже чутлива вага

Ультрацентрифуга – центрифуга, що робить декілька сот тисяч обертів за хвилину

Формула – стислий математичний запис фізичного закону

Формула-1 – різновид автомобільних перегонів

Фундаментальний – основний, в основі всього

Фут = 12 дюймів

Хронометр – дуже точний годинник

Циліндр – геометрична фігура

Циклоїда – складна крива, що її описує точка обода колеса, яке котиться

Час – міра швидкості перебігу подій та зміни явищ

Частота коливань – кількість коливань за одиницю часу

Частота обертання – кількість обертів за одиницю часу

Число π (пі) – $\pi \approx 3.14$

Чорна діра – зірка, яка стиснулася під дією сил тяжіння настільки, що світло не може її покинути

Швидкість – відстань, яку тіло проходить за одиницю часу

Широта – координата, що її вимірюють в градусах дуги вздовж меридіану від екватора на північ чи на південь

Шлях – відстань виміряна вздовж траєкторії

Явище – певна подія, процес прояву чи зміни чогось

Явище застою – явище, коли для зрушення предмета з місця потрібна більша сила, ніж для того, щоб його потім рухати. Це пов'язане з особливостями дії сили тертя

Ядерні сили – сили, що діють між протонами і нейтронами

Ярд = 3 фути

ІНСТРУКЦІЯ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТЬ У КАБІНЕТІ (ЛАБОРАТОРІЇ) ФІЗИКИ

I. Загальні положення

1.1. Інструкція з техніки безпеки для кабінету (лабораторії) фізики навчального закладу поширюється на всіх учасників навчально-виховного процесу під час проведення занять з фізики (демонстраційних дослідів, лабораторних і практичних робіт).

1.2. Під час проведення навчально-виховного процесу у кабінетах (лабораторіях) фізики загальноосвітніх навчальних закладів учні проходять інструктаж з безпеки праці та навчання, надання першої (долікарської) допомоги при характерних пошкодженнях, який проводиться учителем фізики перед початком занять у кабінеті фізики і реєструється в журналі.



II. Вимоги безпеки перед початком роботи

2.1. Чітко з'ясуйте порядок і правила безпечного проведення дослідів.

2.2. Звільніть робоче місце від усіх не потрібних для роботи предметів і матеріалів.

2.3. Перевірте наявність і надійність приладів та інших предметів, необхідних для виконання завдання.

2.4. Розміщуйте прилади, матеріали, обладнання на своєму робочому місці так, щоб запобігти їх падінню або перекиданню.

III. Вимоги безпеки під час виконання роботи

3.1. Починайте виконувати завдання тільки з дозволу вчителя.

3.2. Виконуйте тільки ту роботу, що передбачена завданням або доручена вчителем.

3.3. Не допускайте різких змін температури і механічних ударів виробів зі скла.

3.4. Опускайте тверді тіла в мензурку на міцній нитці, щоб не розбити мензурки.

3.5. Поводьтеся з важелем так, щоб він не обертався навколо осі і не вдарив вас.

3.6. Не доторкуйтесь до затискачів стаціонарних джерел електричного живлення.

3.7. Не залишайте робочого місця без дозволу вчителя.

IV. Вимоги безпеки після закінчення роботи

4.1. Приберіть своє робоче місце з дозволу вчителя.

4.2. Складіть обладнання так, як воно було складено до початку роботи.

4.3. За потреби витріть стіл чистою ганчіркою.

V. Вимоги безпеки в екстремальних ситуаціях

5.1. У разі поранення, опіків тощо, або поганого самопочуття повідомте вчителя.

5.2. У разі виникнення непередбачуваного загоряння чи пожежі негайно повідомте вчителя.

5.3. У випадку нестандартної ситуації приступіть до ліквідації осередку вогню підручними засобами або вогнегасником, який є у кожному фізичному кабінеті.

КАБІНЕТ ФІЗИКИ

1. Кабінет повинен бути обладнаний:
Лабораторними столами і стільцями;
Демонстраційним столом;
Шафами для збереження навчального обладнання для лабораторних та практичних робіт.
2. Кабінет оснащено медичною аптечкою з набором перев'язувальних засобів і медикаментів, відповідно до вимог інструкцій з техніки безпеки охорони праці для учнів.
3. Кабінет фізики належить до групи приміщень з підвищеною безпекою.
Заборонено подавати на робочі столи учнів напругу більш 42 В змінного та 110 постійного струму;
Електрообладнання кабінету з напругою живлення більш 42 В змінного та 110 постійного струму заземлюють.
4. З метою забезпечення попарної безпеки кабінети фізики комплектуються протипожежним інвентарем:
Ящиком із піском, щільною мішковою;
Вогнегасником.
5. Перебування учнів в кабінеті фізики дозволяється лише в присутності вчителя.



ВІДПОВІДІ ДО ДЕЯКИХ ЗАДАЧ

Впр. 1. № 13 в): Сонце – це велетенська розжарена газова куля, у якій немає поверхні. За «поверхню» вважають найбільш яскраву видиму частину Сонця – фотосферу, температура якої приблизно 6 000 К. № 18: приблизно у 100 разів. № 19 а) ≈ 18 млн. км. б) $\approx 1,1$ млрд. км ($1,1 \cdot 10^9$ км.) в) ≈ 26 млрд. км. ($26 \cdot 10^9$ км.) г) ≈ 9500 млрд. км ($9,5 \cdot 10^{12}$ км). № 20 Діаметр Сонця приблизно у 109 разів більший за діаметр Землі. № 23 Приблизно на сто світлових років. № 24 Відстань до зірок настільки велика, що ми не можемо її оцінити «на око». Тому вони нам здаються однаково далекими і розташованими на уявній сфері.

Впр. 2. № 8: у 2 рази.

Впр. 3. № 8: ядерні сили притягання значно сильніші за електричні сили відштовхування. № 12: \approx у 10 млрд. разів (в 10^{10} разів). № 20: ні, не можна, бо електроні оболонки «розмиті». № 21: не діють.

Впр. 4. № 16: збільшується приблизно в 10 разів. № 17 г): туман складається з маленьких крапельок води. № 19: температура навколишнього середовища значно більша за температуру кипіння рідкого азоту (-196°C). № 21: молекули цукру швидше рухаються, а відстані між молекулами води стають більшими. № 23: крапельки туману розсіюють світло у всі сторони.

Впр. 5. № 13: ті, що можна отримати з основних. № 14: ≈ 5 см. № 16: 1 мм = 0,001 м.

Впр. 6. № 14: $\Delta h = 0,01$ м, $\varepsilon(h) \approx 0,065$ або 6,5%. 15 а): $\Delta m = 1$ г, б): $m = (50 \pm 1)$ г, з точністю 2%. № 15: $l = (140,0 \pm 0,5)$ см, $\varepsilon(l) \approx 0,0036$, тобто 3,6%.

Впр. 7. № 3: $1 \text{ м}^3 = 10\,000 \text{ см}^3$. № 4: $\pi = l/d$ (d – діаметр кола). № 5: $1 \text{ м}^3 = 1\,000\,000 \text{ см}^3$, або 1 млн. см^3 , або $1 \cdot 10^6 \text{ см}^3$. № 7: 1 л = 1000 мл. № 9: $S = 78,5 \text{ см}^2$. № 10: $V = 120 \text{ см}^3$.

Впр. 8. № 5: «Траса Кондратюка» була використана для польоту кораблів «Аполло» на Місяць. № 8: Георгій Гамов.

Впр. 9. № 5: електронні мікроскопи. № 7: «Загальна теорія відносності» Ейнштейна. № 10: діаметр волосу: 100 мкм, діаметр Гідрогену: 10 см. № 13: від супутників-ретрансляторів. № 14: процесор. № 15: рентгенівські. № 16: ≈ 600 км/год.

Впр. 10. № 5: еліптичну. № 6: за правилом додавання векторів. № 7: шлях. № 10: коли він рухається по прямій в одну сторону. № 11 в): 40 км.

Впр. 11. № 5: $s = v \cdot t$. № 6: шлях. № 8: 5, 15, 20, 25 і 30 км/год. № 9: за 20 с. № 11: 30 с. № 12 а): у другому випадку попереду велосипедиста їде фургон. б): 16,7 м/с; 74,4 м/с. № 13: дивлячись, як він рухається впродовж кожної секунди. № 14: 250 м. № 15: 28 800 км/год., це у 36 разів більше, ніж літак і в 11,5 разів швидше, ніж винишувач.

Впр. 12. № 3: є принаймні дві причини: 1) усі тіла навколо нас рухаються разом з нами; 2) Земля обертається навколо своєї осі досить повільно. № 4: Земля обертається навколо своєї осі з Заходу на Схід, а нам здається, що Сонце рухається в протилежному напрямі, тобто зі Сходу на Захід. № 7: коли ми бачимо автомобіль здалеку, то оцінюємо його швидкість відносно дороги. № 11: 14 м/с. № 12: 20 с. № 13: 2 хв. № 14: 210 м. № 15: 600 м/с. № 16: 45 с. № 17: 1,5 хв. № 18: 100 сходинок. № 19: швидкість точки В: а) 0; б) -3 м/с. швидкість точки А: б) 3 м/с; а) 6 м/с. № 20 а): 15 см; б): 10 с.

Впр. 13. № 2: згідно формули (13.1) вектор швидкості направлений за вектором переміщення. № 6: обидва спостерігачі бачать круги. № 7: однаково. № 8: через 5 хв. № 9 а): 7,5 км/год.; б): 17,5 км/год. № 10: 6 год. № 11 а): 4 км/год.; б): 16 км/год. № 12: у річці.

Впр. 14. № 2: потрібно за графіком визначити швидкість, а далі - за формулою: $s = v \cdot t$. № 4: тому що швидкість увесь час однакова. № 5: третє. № 9: 12 м. № 10 а): 6 м. № 12: $s = 3 \cdot t$, $s = 6 \cdot t$. № 13 б): $s = 0,5 \cdot t$, $s = t$, $s = 1,5 \cdot t$; $v = 0,5$, $v = 1$, $v = 1,5$. № 13: підказка: швидкість першого тіла відносно другого становить 3 м/с.

Впр. 15. № 3: ... однакові переміщення. № 6: 60 км/год. № 8: середня швидкість визначається тільки на певному проміжку часу. № 10 а): 0; б): переднє. № 11: 40 м. № 12: відстань однакова. № 13: автобус.

Впр. 16. № 2: від радіусу і частоти. № 3: тахометр. № 6: 2п. № 8: 40 192 км. № 9: 10 см. № 10 а): 2 400 об/хв.; б): 50,24 м/с. № 11: 92,7 хв., тобто $\approx 1,5$ год. № 12: 12,56 с. № 15: за умови рівності великої і малої півосей. № 16: на земній осі; радіуси кіл знаходяться в межах від нуля на полюсі до 6 400 км на екваторі. № 18 а): проти годинникової стрілки з частотою 5 об/с. б): маленьке 0,1 с, велике 0,2 с. № 19 а): за годинниковою стрілкою. б): останнє коліщатко обертається швидше, ніж перше. № 20 а): зможе. б): не зміниться. № 21 б): ≈ 27 км/год. № 22: довжина петлі 12 см, відстань між фокусами ≈ 9 см.

Впр. 17. № 1: 8. № 3: тому що він перестав обертатися навколо своєї осі. № 4: в основному, внаслідок впливу Місяця. № 5: див. мал. 11.3. № 7: на схід, а разом із небом - на захід. № 10: ≈ 1 км/с. № 16: наближено - через годину, 5 хв. і ще «трошки»; точно: через 12/11 години. № 17: відносно Землі.

Впр. 18. № 6: за умови невеликих (порівняно з довжиною нитки) амплітуд. № 9: 20 коливань за хв. № 10 а): 3 с; б): $\approx 0,3$ коливань в секунду ($1/3$ коливання в секунду точно). № 12: період коливань маятника майже не змінюється. № 14: бо лампа «миготить». № 16: від висоти, маси, міцності конструкції. № 17: 17,6 м.

Впр. 19. № 7 а): 1000 кг. б): 1 г. в): 1 кг. г): 1 г. № 11: одна зернина. № 12: атомне ядро. № 14: ≈ 22 г/см³. № 16: скляного. № 20 а): 0,83 г/см³. № 21 а): 1000 см³. б): 600 см³. в): 337,5 г. № 24: 57,9 г.

Впр. 20. № 6: в обох випадках тіло знаходиться в стані спокою, або рухається рівномірно. № 9 а): якщо сили рівні за величиною; б) сила, яка направлена вперед – більша. № 10: може. № 11: ні; тільки квант світла фотон має нульову масу, але його не можна вважати тілом. № 13: через властивість інертності. № 14 а): через значну масу цеглини, вона не встигає зрушити з місця і вдарити по руці; б) відколота частина цеглини має меншу масу, ніж маса другої частини разом з рукою і корпусом людини. № 16: частина килима, по якій вдарили, різко рушає з місця, і частинки пилки за нею «не встигають». № 18 а): не може; б): може, якщо рухається вниз по схилу і сили скомпенсовані. № 19: згідно з III законом Ньютона, сили однакові, незалежно від величини початкової швидкості вагонів. № 20: першому. № 21: можна перекинутися вперед. № 22: молоток, що набрав швидкість, важко зупинити.

Впр. 21. № 14 а): -4 м/с². № 16 а): 8 м/с²; б): 16 м/с. № 18: 40 см/с. № 19: порохові гази тиснуть на снаряд і гармату в протилежних напрямках. № 20: 15 м/с. № 22: збільшується, поки не стане сталою. № 23 б): 10 м/с.

Впр. 22. № 10: сталь більш пружний матеріал. № 13 а): розтягується; б): прогинається; в): стискаються. № 15: 12 Н/см. № 18: 5 Н/см. № 19: $k/2$. № 20: $F = (1,75 \pm 0,25)H$, 0,14.

Впр. 23. № 8: не зміниться. № 9: 30 Н. № 10 а): 5 м/с², вправо. б): на 10 м/с. № 11 а): 3 000 кг; б): 144 км/год. № 12: прискорення меншого за масою автомобіля втричі більше. № 14 а): 5 Н, вправо; б): четверту. № 15 а): 1 Н, вправо; б): $\approx 2,8$ Н, $\approx 2,2$ Н.

Впр. 24. № 8: повітря заважає рухатися тим сильніше, чим більша швидкість тіла. № 9: деформацію викликають сила тяжіння і реакція опори. № 11: з моменту, коли коробка відірвалася від руки. № 12: можна. № 18 а): 30 Н; б): 30 Н; в): 20 Н. № 19: 15 м; $v = g \cdot t$, $s = vcp \cdot t$.

Впр. 25. № 13: ці матеріали тверді і мало зношуються. № 18: 40 Н. № 19: ≈ 75 000 Н. № 20 а): тертя спокою; б): тертя кочення. № 21: 0,5 см.

Впр. 26. № 13: 500 000 Па. № 14: 20 000 Па. № 15: 0,25 м³. № 16: 500 млн. Па, ($5 \cdot 10^8$ Па). № 17 а): у 8 разів; б): у 2 рази.

Впр. 27. № 9: ≈ 107 млн. Па, (≈ 1050 атм.). № 10: 133 280 Па, (≈ 1.3 атм.). № 11 а): не зміниться; б): збільшиться у 13,6 разів. № 13 а): 125 кг; б): 4 900 Па; в): 612,5 Н. № 14 а): не зміниться; б): збільшиться. № 15 а): тому що густина води менша за густину ртуті; б): $\approx 18,5$ см.

Впр. 28. № 12: виникає різниця між зовнішнім тиском атмосфери і тиском в «середньому вусі». № 15 а): 360 м; б) з висотою густина повітря зменшується. № 16 а): ртуть нижче рівня отвору виллється, а ртуть вище рівня отвору підніметься під верх трубки; б) уся ртуть виллється з трубки. № 17: вагу пляшки разом з водою. № 18 а): 10,34 м. № 19: 9,8 Па. № 21: тиск у бульбашках знамо більший за атмосферний, і вони починають розширюватися. № 24: $5 \cdot 10^{15}$ т. № 25: через 2 с. № 28: $p = p_0 + \rho gh$. № 29 а): 760 мм рт. ст.; б): 800 мм рт. ст. в): 720 мм рт. ст.

Впр. 29. № 9: рідина практично не стискається. № 11: 2 000 Па. № 13: 20 мм рт. ст. або 2 720 Па. № 14: ні. № 15: 2 400 Н. № 17: збільшилася втричі. № 19: у 2 000 разів. № 20: В.

Впр. 30. № 10: вони однакові. № 11: залежить від матеріалу важків. № 12: тонна заліза. № 14: на більшій глибині виштовхувальна сила децю більша. № 15 а): 0,4 л; б) 0,5 л. № 16 а): 0,5 Н; б): 0,3 Н. № 17: 200 см³. № 18 а): 0,3 Н; б): 2,5 г/см³. № 19: залізна куля переважить. № 20: залізна куля переважить. № 22: $\rho = (F_1 \cdot \rho_2 - F_2 \cdot \rho_1) / (F_1 - F_2)$. № 23: 50 см³. № 24: 10 кг.

Впр. 31. № 11: не буде. № 13: водень має меншу густину, ніж гелій. № 14: щоб кулю не розірвало в стратосфері. № 16: 200 г. № 18: ні. № 19 а): ні; б): так. № 21: 1 600 м³. № 22: на $m/(\rho \cdot S)$. № 24 а): виштовхувальна сила і сила натягу нитки; б): виштовхувальна сила нічим не скомпенсована. № 25: понизиться. № 26: Д.

Впр. 32. № 13: виконує, за рахунок тремтіння м'язів. № 15: 480 Дж. № 16: а) -4,9 Дж; б) 4,9 Дж. № 17: 76 440 Дж. № 18: 0,08 Дж. № 21: 60 Вт. № 22: ≈ 13067 Вт або 13,1 кВт. № 23 а): 1 600 Вт; б): 3 200 Вт. № 24: 31 360 Дж або 31,36 кДж.

Впр. 33. № 3 в): $mv^2/2$. № 9: на рух піску витрачається енергія. № 10: у 25 разів. № 12: у 9 разів. № 13: у стільки ж разів, у скільки відрізняються їх жорсткості. № 15: 100 Дж. № 16: 12 Дж. № 17: 6 млн. Дж. Робота витрачена на подолання сили тяжіння, в результаті чого гелікоптер набув потенціальної енергії 6 МДж. № 18 а): $2,5 \cdot 10^8$ Дж або 2,5 мДж; б): 10 мДж. № 19 а): у 3 рази.

Впр. 34. № 8: пісок поглинає усю кінетичну енергію м'яча. № 10: від початкової потенціальної енергії м'яча відняти значення кінетичної енергії в момент падіння. № 11: 10 м/с. № 12: 200 м/с. № 13 а): 2,5 Дж;

б): ≈ 30 м/с; в): ≈ 50 м. № 15: 4 Дж. № 16: 18 750 Вт або 18,75 кВт.
№ 17: у 4 рази. № 18: 437 500 Дж або 437,5 кДж.

Впр. 35. № 5: у другому випадку плече сили тяжіння, що діє на стержень велике. № 10: заважає сила тертя в осі коромисла. № 17: щоб отримати вигреш у швидкості. № 18: не менше, ніж 7. № 19: відношення сил, що діють на плечі важеля, обернено пропорційне відношенню відповідних довжин цих плечей.

Впр. 36. № 7: від кута нахилу площини до горизонту і коефіцієнту тертя. № 9: у 6 разів. № 12: програючи у силі, велосипедист виграв у швидкості. № 15: див. мал. 36.8. № 16 в): спіраль. № 17: чим менший крок гвинта – тим більший вигреш у силі. № 18: 50 Н. № 19 а): 5 Н вгору; б): 5 Н вгору; в): 5 Н; г): 5 Н вниз; д): 11 Н.

Впр. 37. № 9: 125 Дж. № 12: проти годинної стрілки. № 14: 2 400 Дж. № 16 а): 5 Дж; б): 0,5 Дж; в): $\approx 91\%$. № 18: коли людина крокує, вона постійно піднімає і опускає свій корпус, витрачаючи на це зайву енергію (поспостерігайте, як рухається під час спортивної ходьби спортсмен).

ЗМІСТ

Дорогі друзі!	3
---------------	---

Розділ 1. Фізика як природнича наука.

Методи наукового пізнання

§ 1. Фізика як фундаментальна наука про природу. Методи наукового пізнання	6
§ 2. Зв'язок фізики з іншими науками	10
§ 3. Початкові відомості про будову речовини. Речовина і поле	14
§ 4. Основні положення атомно-молекулярного вчення. Властивості тіл	18
§ 5. Фізичні величини. Засоби вимірювання. Міжнародна система одиниць сі	23
§ 6. Похибки. Оцінювання точності вимірювань	28
§ 7. Визначення площі та об'єму	31
§ 8. Внесок українських учених у розвиток і становлення фізики	34
§ 9. Фізика в науці, техніці, виробництві і побуті	38
Нові теорії і нові досягнення	41
Підсумки розділу I	44
Завдання до розділу I	45

Розділ 2. Механічний рух

§ 10. Як описують механічний рух	48
§ 11. Рівномірний прямолінійний рух	52
§ 12. Відносність руху	55
§ 13. Закон додавання швидкостей	58
§ 14. Графіки шляху і швидкості	62
§ 15. Нерівномірний рух	65
§ 16. Рівномірний рух по колу	69
§ 17. Рух планет і місяця	74
§ 18. Коливальний рух. Маятники	79
Підсумки розділу II	84
Завдання до розділу II	85

Розділ 3. Взаємодія тіл. Сила

§ 19. Маса тіла. Густина речовини	88
§ 20. Сила. Інертність тіла. Явище інерції	92
§ 21. Взаємодія тіл. Результат дії сили	97
§ 22. Сила пружності. Закон Гука. Динамометри	103
§ 23. Додавання сил. Рівнодійна. Маса і сила	108
§ 24. Сила тяжіння. Вага тіла. Невагомість	112
§ 25. Сили тертя. Коефіцієнт тертя ковзання	117
§ 26. Тиск твердих тіл на поверхню. Сила тиску	121
§ 27. Тиск рідин і газів. Сполучені посудини	124

§ 28. Атмосферний тиск. Дослід торрічеллі	129
§ 29. Манометри. Насоси. Гідравлічний прес	135
§ 30. Виштовхувальна сила в рідинах і газах. Закон архімеда	140
§ 31. Умови плавання тіл	145
Підсумки розділу III	151
Завдання до розділу III	153

Розділ 4. Механічна робота та енергія

§ 32. Механічна робота. Потужність	158
§ 25. Механічна енергія та її види	162
§ 34. Закон збереження механічної енергії	167
§ 35. Момент сили. Умови рівноваги важеля	170
§ 36. Прості механізми	175
§ 37. Коефіцієнт корисної дії механізмів (ккд)	179
§ 38. Розвиток фізичної картини світу	183
§ 39. Вплив фізики на суспільний розвиток та науково-технічний прогрес	188
Підсумки розділу IV	194
Завдання до розділу IV	195

Додатки

Словник деяких термінів	204
Інструкція з техніки безпеки під час проведення занять у кабінеті (лабораторії) фізики	211
Кабінет фізики	213
Відповіді до деяких задач	214