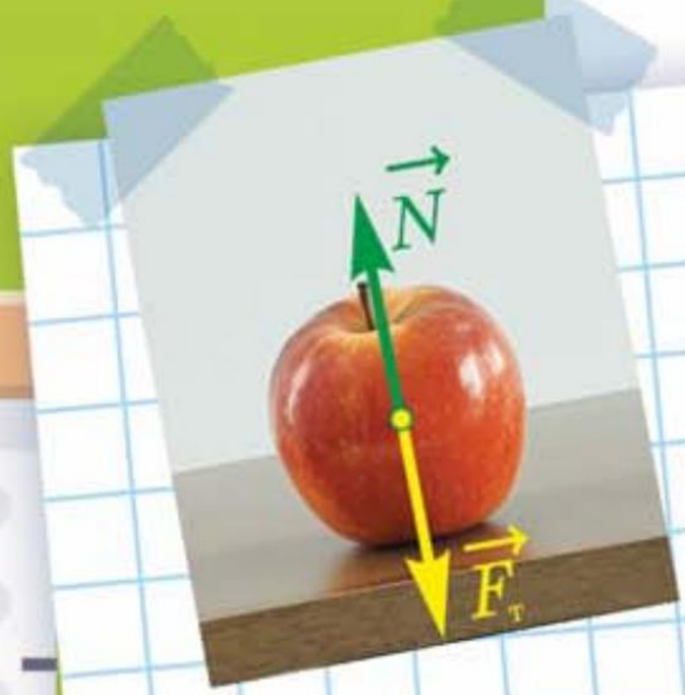
Лев Генденштейн
Ярослав Гринчишин

ФІЗИКА

7



$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$$



Видавництво «Підручники і посібники»

Лев Генденштейн, Ярослав Гринчишин

ФІЗИКА

Підручник для 7 класу
закладів загальної середньої освіти

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видавництво ™ «Підручники і посібники»

УДК 373.167.1:53
Г34

Підручник створено за модельною навчальною програмою «Фізика. 7–9 класи» для закладів загальної середньої освіти (автори З. Ю. Максимович, М. М. Білик, Л. В. Варениця, Г. С. Коваль, О. М. Микитеєк, М. Б. Ординович, А. В. Созанський, В. Ф. Шевців)

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Генденштейн Л.

Г34 Фізика : підруч. для 7 класу закл. загальн. середн. освіти / Л. Генденштейн, Я. Гринчишин. — Тернопіль : Підручники і посібники, 2024. — 224 с.

УДК 373.167.1:53

© Л. Генденштейн, Я. Гринчишин, 2024

ЯК ВЧИТИСЬ ЗА ЦИМ ПІДРУЧНИКОМ

Підручник, сторінки якого ви гортаєте, особливий, адже в ньому реалізовано дослідницький підхід до навчання. Це означає, що ви зможете проводити прості дослідження і самостійно робити припущення та висновки.

Проведемо дослід



У більшості параграфів новий матеріал пояснено за допомогою простих дослідів.

Домашній експеримент



Дослідницькі завдання запропоновано також і для виконання вдома під рубрикою «Домашній експеримент».

Про що ми дізнались?



Наприкінці кожного параграфа є рубрика «Про що ми дізнались?». Вона пропонує основні положення з вивченого. Це дозволить узагальнити і краще усвідомити матеріал.

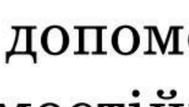
Щоб глибоко розуміти фізику й успішно застосовувати знання на практиці, вам потрібно навчитися розв'язувати задачі. З цією метою багато задач у підручнику включено безпосередньо до *теорії*, до багатьох завдань наведено *поради* до розв'язання. У задачах до однієї умови може бути запропоновано кілька запитань.

Додаткові запитання та завдання



Після кожного параграфа є рубрика «Додаткові запитання та завдання», що передбачає диференціацію завдань за рівнями складності.

Лабораторна робота



Для лабораторних робіт запропоновано підхід з мінімально деталізованими алгоритмами, що допоможе краще вникнути в суть дослідження кожної роботи, самостійно з'ясувати, що є істотним, а що — неістотним для її виконання.

Бажаємо плідної праці з нашим підручником.

Вивчаймо фізику разом!

КАБІНЕТ ФІЗИКИ. ПРАВИЛА БЕЗПЕЧНОЇ ПОВЕДІНКИ УЧНІВ / УЧЕНИЦЬ НА УРОКАХ ФІЗИКИ

Фізика — природнича наука, яка досліджує загальні властивості навколишнього світу (матерії) і явищ у ньому. Для вас вона водночас нова і не нова. Початкові відомості з фізики ви отримали під час вивчення предметів «Я досліджую світ» та «Пізнаємо природу». Вам вже розповідали про деякі фізичні явища, наприклад, про тяжіння та дифузію. Вам вже відомі деякі фізичні терміни, наприклад, швидкість та атом. Ви також вмієте користуватися деякими фізичними приладами, наприклад, термометром та мірним циліндром. У курсі фізики ви про це дізнаєтеся значно більше. На уроках вам розкажуть, як учені відкривають загальні закони, яким підпорядковані природні явища, навчать характеризувати і пояснювати ці процеси.

Невід'ємною частиною пізнання природи є проведення дослідів. На уроках ви неодмінно експериментуватимете. Прості досліди з використанням нескладного обладнання допоможуть вам краще збагнути закономірності перебігу фізичних явищ.

Зазвичай уроки фізики проводитимуть у спеціально обладнаному приміщенні — фізичному кабінеті, який відрізняється від інших. У ньому є вчительський та учнівські столи, класна дошка, комп'ютер, мультимедійна дошка, проєктор тощо. А ще в такому кабінеті є великий демонстраційний стіл, на якому вчитель / вчителька демонструє досліди. До цього стола, як і до учнівських, підведено напругу. У кабінеті фізики чимало різноманітного обладнання, яке зберігають у шафах або спеціальній лаборантській кімнаті.

На уроках фізики вам доведеться працювати з електроприладами, скляним обладнанням, нагрітими тілами, тому в кабінеті обов'язково повинен бути вогнегасник і аптечка. Щоб не травмуватися самим і не наражати на небезпеку оточення, слід дотримувати правил безпечної поведінки.

1. Без дозволу вчителя не заходьте до кабінету і не залишайте робоче місце.
2. У кабінеті фізики не бігайте, не пересувайте столи.
3. Будьте уважні, обережні, дисципліновані. Точно виконуйте вказівки вчителя.

4. Без дозволу вчителя не торкайтесь до демонстраційного обладнання.
5. Під час виконання лабораторних робіт не тримайте на робочому столі предмети, які не використовують під час роботи.
6. Прилади і матеріали розміщуйте на робочому столі так, як це зазначено в описі до роботи.
7. Перед початком роботи ретельно вивчіть вказівки до роботи та хід її виконання.
8. Під час роботи з обладнанням (особливо скляним) не штовхайте стіл, не допускайте падіння приладів.
9. Під час роботи з електричним обладнанням:
   а) вмикайте джерело живлення лише після того, як учитель перевірить правильність складання електричного кола і дозволить увімкнути джерело живлення;
   б) стежте, щоб ізоляція проводів була неушкодженою;
   в) не торкайтеся руками до оголених ділянок кола;
   г) намагайтесь не переплітати провідники, їх наконечники міцно фіксуйте у клемах;
   д) виявивши несправність, негайно вимкніть джерело живлення та повідомте вчителя.
10. Користуючись нагрітими предметами та речовинами, будьте обережні, щоб не отримати опіки.
11. Закінчивши роботу, перевірте стан приладів, складіть їх у належному порядку та повідомте вчителя.
12. Якщо хтось із учнів /учениць отримав травму, негайно повідомте про це вчителя або шкільну медсестру.

РОЗДІЛ І. ФІЗИКА І АСТРОНОМІЯ — НАУКИ ПРО ПРИРОДУ

§ 1. ЩО ВИВЧАЄ ФІЗИКА?

§ 2. НАУКОВЕ ПІЗНАННЯ ПРИРОДИ

§ 3. РЕЧОВИНА І ПОЛЕ. БУДОВА РЕЧОВИНИ

§ 4. ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ ТА ЇХ ВИМІРЮВАННЯ



§ 1. ЩО ВИВЧАЄ ФІЗИКА?

1. Фізика та астрономія як природничі науки.
2. Творці фізичної науки.
3. Видатні фізики та інженери — наші співвітчизники.
4. Фізичні тіла.
5. Фізичні явища.
6. Макро-, мікро- та мегасвіт.
7. Рух небесних тіл. Розвиток уявлень про будову Сонячної системи.

1. Фізика та астрономія як природничі науки

Ще в сиву давнину люди помітили, що природні явища мають свої закономірності. Наприклад, після дня настає ніч, після весни — літо. Узимку дні коротші, а влітку — довші.

Наведіть ще приклади природних закономірностей.

Природними закономірностями є й народні прикмети про погоду:

- ластівки літають високо — до гарної погоди, низько — до дощу;
- грім у вересні — до теплої осені;
- багряний захід сонця — до негоди (мал. 1.1).



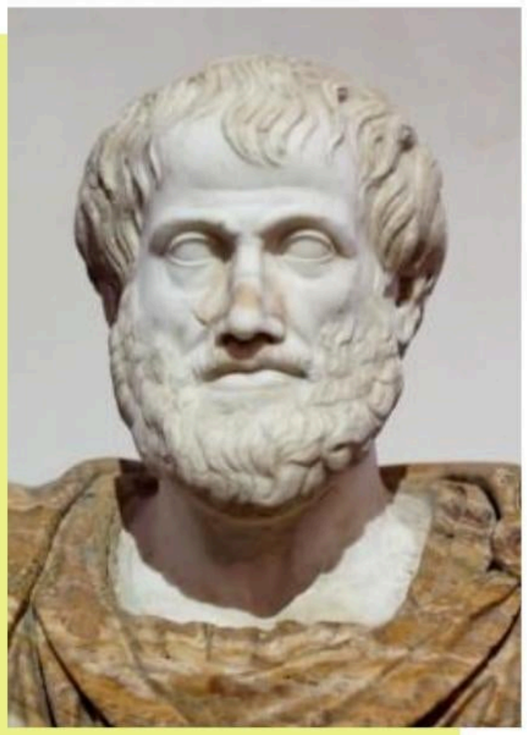


Мал. 1.1

Знання природних закономірностей дозволяє передбачати ті чи інші явища, завдяки чому їх можна використовувати, наприклад, у землеробстві чи під час проєктування гідроелектростанцій, автомобільних шляхів, аеропортів.

Людей, які розумілися на природних закономірностях і могли передбачати природні явища, називали мудрецями.

В античні часи з'явилися перші вчені-природодослідники — люди, які присвячували життя пошуку та тлумаченню закономірностей природних явищ.



Найвидатнішим ученим стародавнього світу був Арістотель, який жив у Греції в 4 ст. до н. е. Він припустив, що безліч природних закономірностей можна пояснити за допомогою небагатьох загальних закономірностей. Сьогодні ці загальні закономірності називають *законами* природи.

Наведемо приклади. Те, що камінь падає вниз, а занурений у воду м'яч спливає нагору, — приклади закономірностей. Спливання м'яча пояснюється законом, відкритим давньогрецьким ученим Архімедом. Згідно з цим законом, на всі занурені у воду тіла діє виштовхувальна сила. А падіння каменя пояснюється законом всесвітнього тяжіння, відкритим англійським ученим Ісааком Ньютоном: *усі тіла* (у тому числі камінь та Земля) притягуються одні до одних.

У 7 класі ми ознайомимось як із законом всесвітнього тяжіння Ньютона, так і з законом Архімеда і дізнаємось, які ще закономірності обумовлені цими законами.

Свої міркування про закони природи Арістотель виклав у восьми книгах під загальною назвою «Фізика». Так народилася назва тієї науки, яку ми починаємо вивчати. У перекладі із давньогрецької «фізика» означає «наука про природу».

Фізика розвивалася водночас і *разом* з іншою наукою про природу — *астрономією*. Це слово походить від давньогрецьких слів «астра», що означає «зоря», і «номос», що означає закон. Проте астрономія вивчає не лише зорі, а й планети, їхні супутники, комети. Астрономів також цікавлять величезні скупчення зір, які називають галактиками, походження зір і навіть походження самого Всесвіту. Астрономія та фізика міцно пов'язані; наприклад, джерело енергії зір фізики відкрили, вивчаючи атомне ядро.

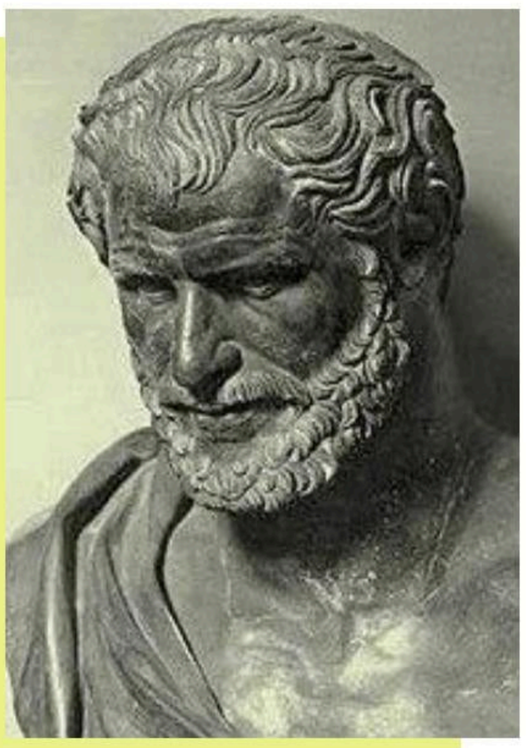
Цього навчального року ми розглядатимемо переважно механіку — частину фізики, що вивчає рух і взаємодію тіл. Основні закони механіки були відкриті зокрема і під час вивчення руху небесних тіл з використанням результатів, отриманих астрономами.

Науки про природу називають природничими, і фізику вважають найфундаментальнішою серед них. Прикладами природничих наук також є хімія та біологія, які ви теж вивчатимете в школі. На стику фізики з цими науками з'явилися нові природничі науки — наприклад, астрофізика, біофізика, фізхімія.

2. Творці фізичної науки

Розповімо про вчених, які стояли біля витоків фізики.

Демокріт (близько 460–370 рр. до н. е.)

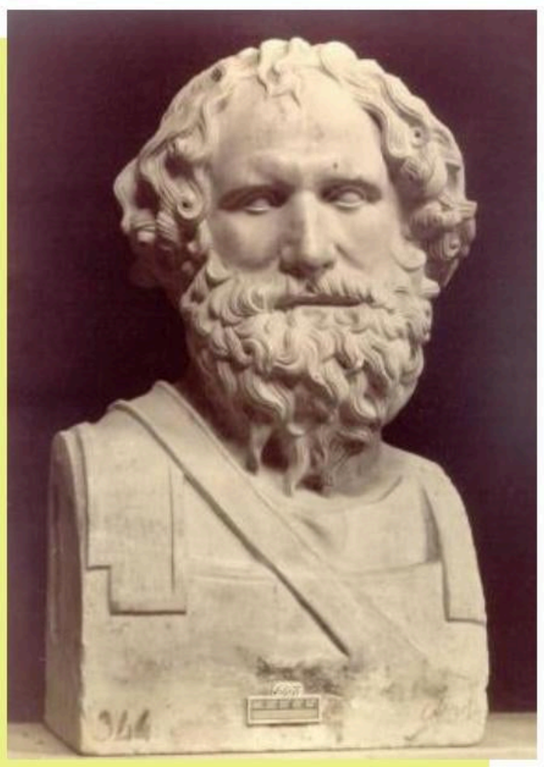


Давньогрецький учений Демокріт припустив існування *атомів* — найдрібніших часток речовини — більше ніж за дві тисячі років до відкриття їх дослідним шляхом. Він сказав: «У світі є лише атоми і порожнеча». Щоправда, тепер ми знаємо, що у «світі» є не лише атоми — наприклад, є ще випромінювання: так, усе живе на Землі існує завдяки випромінюванню Сонця.

Демокріт завжди був усміхнений, тому його назвали «філософом, який сміється». А ще Демокріт розмірковував про те, як жити гідно. Ось кілька його мудрих висловів.

- *Прекрасного досягають шляхом навчання і великих зусиль, а дурне засвоюється саме.*
- *Ні мистецтва, ні мудрості не можна навчитися, якщо не вчитися.*
- *Головне не в повноті знань, а в глибині розуміння.*

Архімед (287–212 рр. до н. е.)

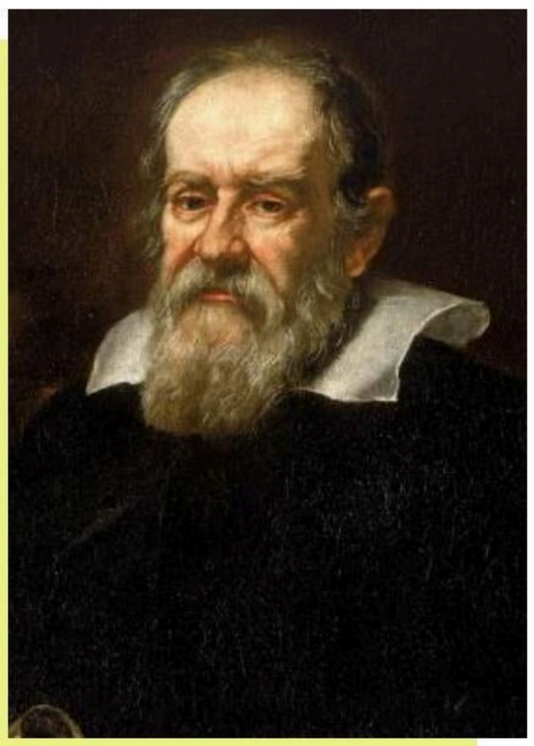


Архімед народився, жив і загинув у Сіракузах — давньогрецькому місті на острові Сицилія. Він відкрив закони рівноваги, зокрема «правило важеля», яке ми вивчатимемо цього року. Відкривши його, винахідник так надихнувся, що заявив, що перевернув би Землю, якби мав точку опори! Цього року ми будемо вивчати також знаменитий закон Архімеда, який пояснює плавання тіл.

Для оборони свого міста від римлян Архімед побудував катапульти, що жахали римських воїнів. Величезні каменюки, випущені з цих машин, косили ряди римлян. Залізні лапи інших машин піднімали римські кораблі і кидали їх на скелі.

За однією з легенд, коли римляни увірвалися в Сиракузи, віроломно захопивши місто, Архімед креслив на піску, винаходячи нові бойові машини. Аж раптом на креслення наступила нога римського воїна. Обурений винахідник кинувся на римлянина з криком: «Не чіпай моїх креслень!» Це стало його останніми словами. Солдат зупинився і холоднокровно зарубав ученого мечем.

Галілео Галілей (1564–1642)

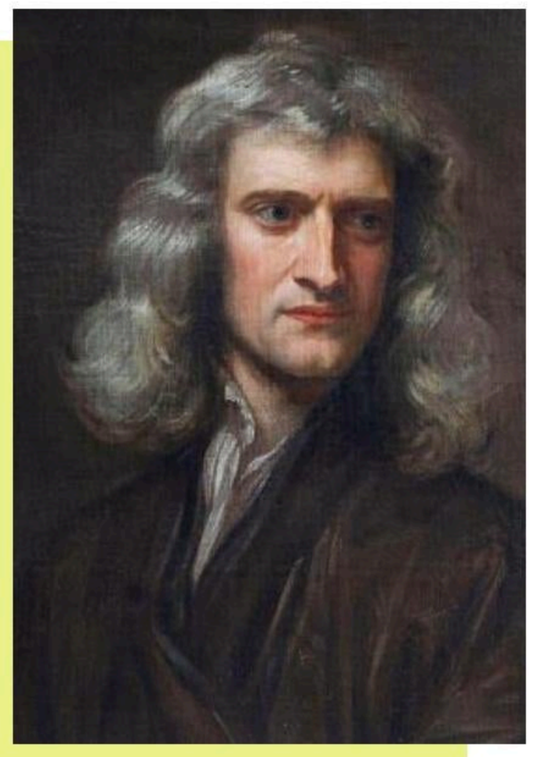


Коли майбутній видатний італійський фізик Галілео Галілей вивчав в університеті фізику та математику, їх викладали на основі праць давньогрецьких учених.

Давньогрецька математика дуже сподобалася юнакові, а ось положення «Фізики» давньогрецького вченого Арістотеля викликали сумніви. Вони привели Галілея до великих відкриттів — ми згодом ознайомимося з цим детальніше.

Галілей першим спрямував підзорну трубу в нічне небо — й одразу побачив гори і кратери на Місяці, відкрив супутники Юпітера, а також виявив, що Чумацький Шлях, який перетинає нічне небо, — це скупчення незліченної кількості зір.

Галілей палко обстоював вчення польського астронома Миколая Коперника, за яким усі планети, і Земля також, обертаються навколо Сонця. Це вчення не визнала тодішня церква, і під загрозою тортур Галілея примусили зректися його. Але, за переказами, італійський фізик при цьому промовив: «А все таки Земля обертається!»



Ісаак Ньютон (1643–1727)

Коли в школі Ньютона побив сильніший однокласник, майбутній фізик вирішив перевершити його в навчанні — і став найкращим учнем у школі. Можливо, це і був перший крок до того, щоб стати згодом найвидатнішим англійським ученим.

Замолоду Ісаак полюбляв різноманітні виті-

вки. Наприклад, знаючи, що мешканці його села дуже бояться комет, він прив'язав саморобний ліхтар до повітряного змія і запустив його вночі. Усе село було нажахане.

У віці 14 років хлопця забрали зі школи допомагати по господарству, але він вчився самотужки і в результаті якнайкраще підготувався до вступу в університет.

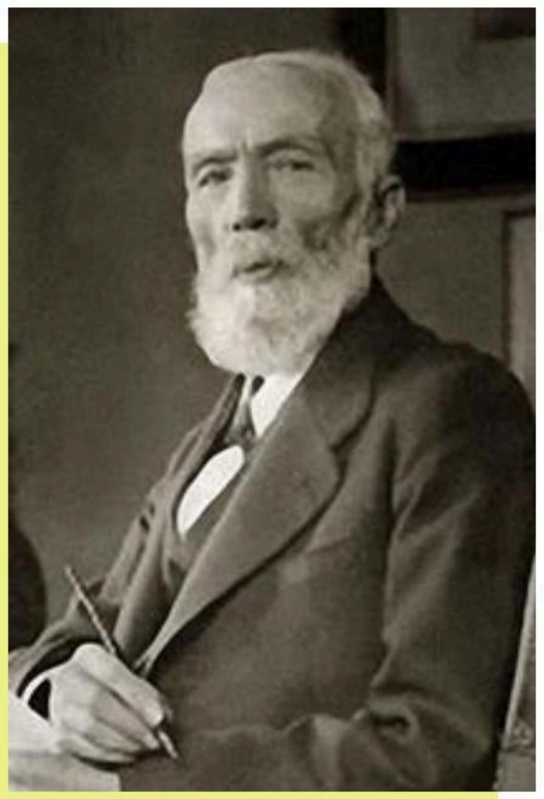
Коли Ньютон закінчив університет, в Англії вибухнула епідемія чуми, і йому довелося на два роки усамітнитися в рідному селі. Але вчений не гаяв часу, а поринув у дослідження та роздуми, наслідком яких стали великі відкриття.

Учений сформулював основні закони механіки — знамениті «три закони Ньютона». Також він відкрив закон всесвітнього тяжіння, за яким усі тіла у Всесвіті притягуються одне до одного.

3. Видатні фізики та інженери — наші співвітчизники

Розповімо про деяких видатних фізиків та інженерів, які народилися або працювали в Україні.

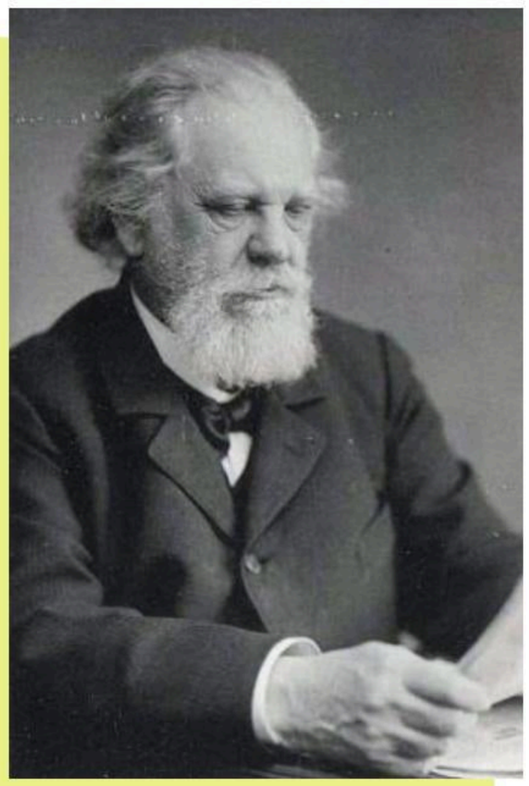
Іван Пулюй (1845–1918)



Після закінчення Тернопільської гімназії Іван Пулюй вирушив пішки до Віденського університету. Згодом він став професором і ректором Німецької вищої технічної школи в Празі, державним радником з електротехніки Богемського королівства і Маркграфства Моравія. Один з перших дійсних членів Наукового товариства імені Шевченка (з 1899 р.), почесний член Віденського електротехнічного товариства. Разом з П. Кулішем та І. Нечуй-Левицьким здійснив переклад Біблії українською мовою.

Пулюй був одним з перших, хто вивчав рентгенівські промені: саме він зробив перші високоякісні рентгенограми за допомогою самотужки сконструйованого обладнання. Учений займався молекулярною фізикою, дослідженням катодних променів, першим дослідив світіння неону, яке використовують, наприклад, для реклами. Він брав участь у спорудженні першої в Європі електростанції змінного струму.

Микола Умов (1846–1915)



Микола Олексійович Умов здобув світову славу завдяки проведеним в Одесі дослідженням поширення електромагнітної енергії. Незалежно від нього такі самі дослідження проводив англійський фізик Джон Пойнтінг. На честь цих учених фізичну величину, яка характеризує поширення електромагнітної енергії, названо «вектором Умова — Пойнтінга».

Умов досліджував коливання, електричні й оптичні явища, земний магнетизм, молекулярну фізику, дифузію водних розчинів, поляризацію світла; він передбачив складну будову атома.

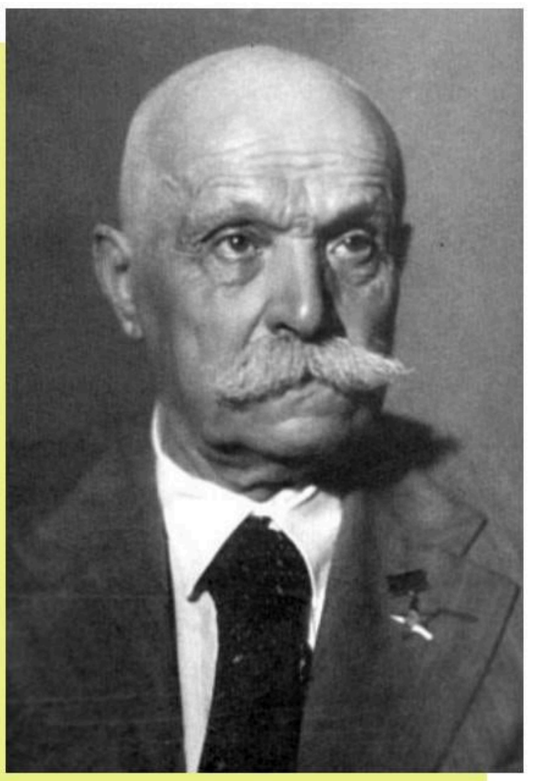
Микола Пильчиков (1857–1908)



Микола Дмитрович Пильчиков народився в Полтаві. Навчався в Харківському університеті, після чого працював у Харкові й Одесі. Він досліджував земний магнетизм, був одним з винахідників електронної фотографії, сформулював її принципи, провів дослідження електричних явищ в атмосфері. Винахідник створив чимало оригінальних приладів і пристроїв, зокрема й прообраз сучасного скафандра.

Пильчиков першим у світі здійснив керування об'єктами на відстані за допомогою радіо, на власні кошти збудував першу радіостанцію в Україні.

Був дійсним членом Тулузької академії наук та Лондонського Фарадеївського товариства, Міжнародного товариства електриків та інших учених товариств Австрії, Бельгії, Німеччини, Франції, США. Учений грав на скрипці, захоплювався живописом, писав вірші.



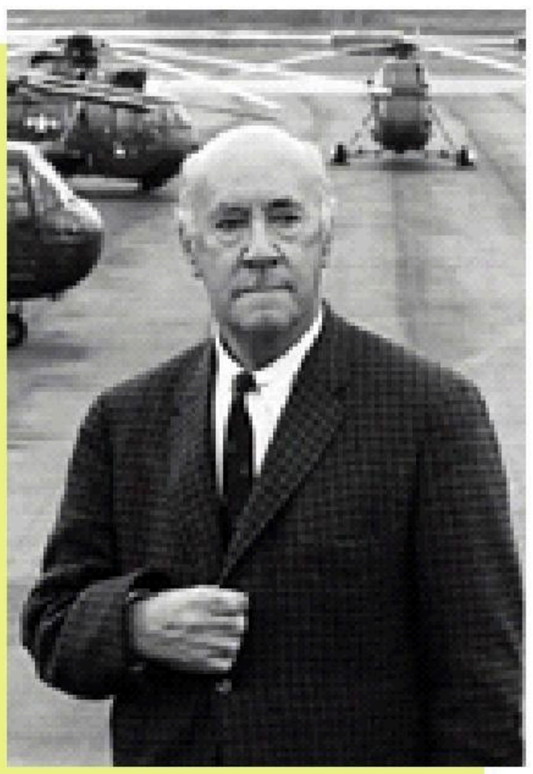
Євген Патон (1870–1953)

Євген Оскарович Патон заснував у Києві перший у світі Інститут електрозварювання, який нині носить його ім'я. Цей інститут і сьогодні є

провідним у світі. Світове визнання Євгенові Патону принесли роботи з технології зварювання та конструювання залізничних мостів. За його участі споруджено понад 100 зварних мостів, зокрема знаменитий суцільнозварний міст через Дніпро в Києві, відомий як «міст Патона».

Під керівництвом Євгена Патона було розроблено обладнання та технологію зварювання спеціальної сталі для танків.

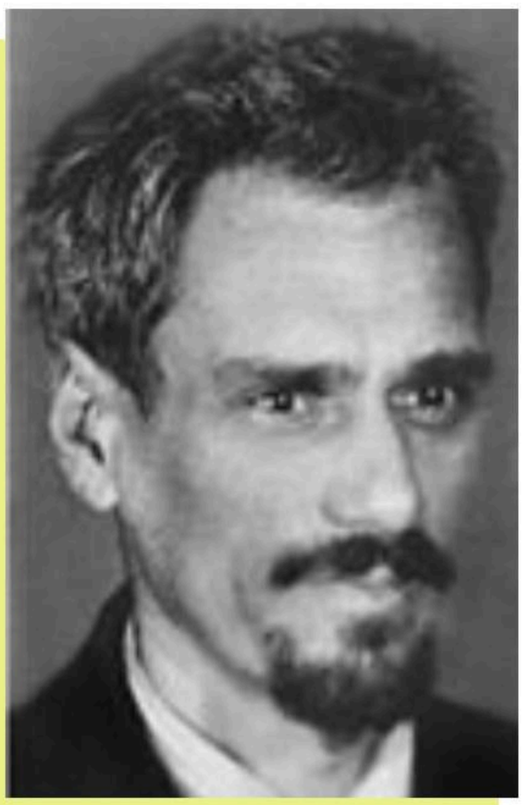
Ігор Сікорський (1889–1972)



Ігор Іванович Сікорський народився в Києві, навчався в Київському політехнічному інституті. Сконструював перший гелікоптер, що принесло йому згодом світову славу. Всі перші польоти на гелікоптерах Сікорський виконував сам!

Більшість сучасних гелікоптерів розробляють за принципом, який винайшов Сікорський: великий гвинт зверху та малий — на хвості збоку. Ігор Сікорський сконструював також перший у світі чотиримоторний літак.

Юрій Кондратюк (1897–1942)



Юрій Васильович Кондратюк народився в Полтаві. Його справжні ім'я та прізвище — Олександр Шаргей, але внаслідок обставин він їх змінив. Працював у різних містах, зокрема в Харкові.

Юрій Кондратюк став всесвітньо відомим завдяки польоту американських космонавтів на Місяць, який було здійснено за розрахунками траєкторії польотів, що він їх запропонував. Головна ідея Кондратюка полягала в тому, щоб вивести космічний корабель на орбіту навколо Місяця, а потім запустити з цього корабля зліт-
но-посадковий апарат, на якому люди висадяться на природний супутник Землі та повернуться на космічний корабель. Ім'ям Кондратюка названо один із кратерів на Місяці.

Олександр Смакула (1900–1983)



Олександр Теодорович Смакула після закінчення гімназії в Тернополі навчався в Геттінгенському університеті (Німеччина). Український фізик винайшов спосіб просвітлення оптики, який полягає в нанесенні на поверхню скла дуже тонкої прозорої плівки (її називають «шаром Смакули»), завдяки чому прозорість оптики значно збільшується. Шар Смакули надає об'єктиву фотоапарата лілуватого відтінку.

Смакула розробив також унікальну технологію вирощування монокристалів, які за своїми властивостями кращі за природні. Методи, які розробив учений, широко використовують і сьогодні.

Вадим Лашкарьов (1903–1974)



Вадим Євгенович Лашкарьов народився в Києві та здобув там вищу освіту. Він відкрив деякі властивості напівпровідників, завдяки чому вони стали «мозком» усієї сучасної техніки: напівпровідники використовують у комп'ютерах, смартфонах, цифрових фотоапаратах, відеокамерах тощо. Під керівництвом ученого в Інституті фізики Академії наук України було налагоджено виробництво транзисторів. Лашкарьов створив наукову школу фізики напівпровідників, яка здобула світову славу. Він заснував Інститут напівпровідників Академії наук України, який носить сьогодні його ім'я.

Джордж (Георгій) Ґамов (1904–1968)



Георгій Антонович Ґамов народився в Одесі, а працював у різних країнах світу. За підтвердження наукових передбачень Ґамова кількома вченим було присуджено найвищу наукову нагороду — Нобелівську премію.

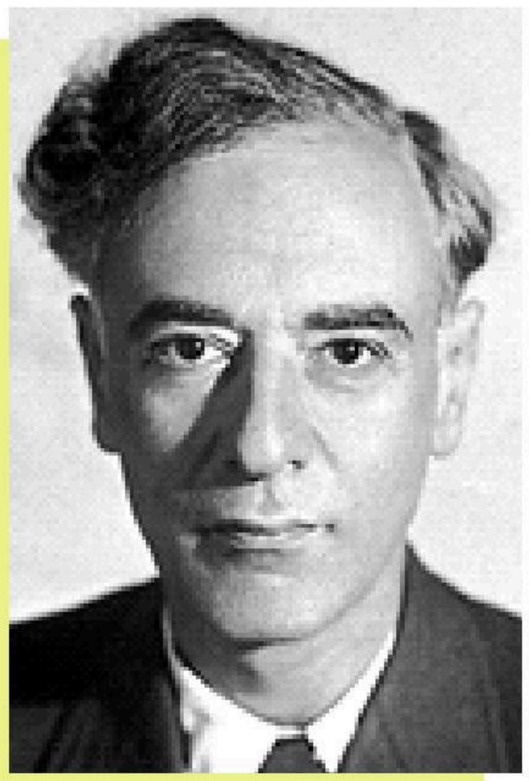
По-перше, Ґамов розробив модель «гарячого Всесвіту», згідно з якою Всесвіт виник унаслідок «Великого Вибуху». Учених, що знайш-

ли експериментально слід Великого Вибуху (так зване «реліктове проміння»), удостоїли Нобелівської премії.

По-друге, Ґамов передбачив «тунельний перехід», на якому заснована дія більшості сучасних електронних приладів. Учених, що підтвердили це явище, було удостоєно Нобелівської премії.

По-третє, Ґамов передбачив так званий «генетичний код», на якому базується вся сучасна біологія. Учених, що знайшли експериментальне підтвердження генетичного коду, удостоїли Нобелівської премії.

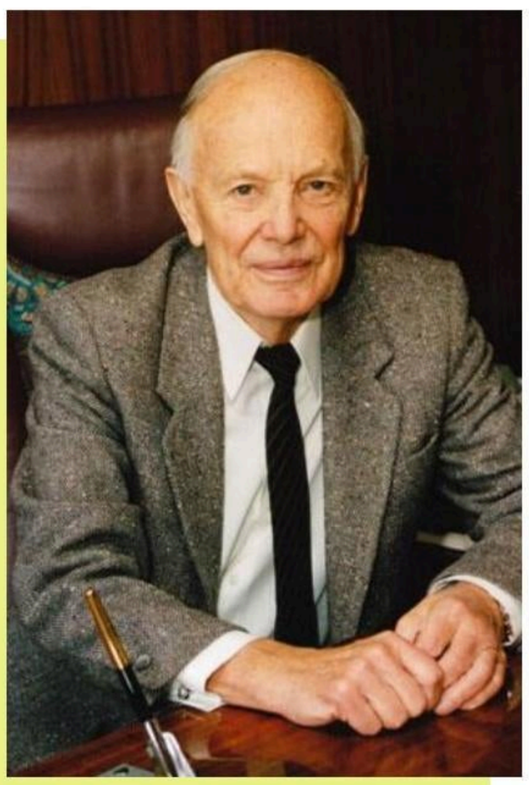
Лев Ландау (1908–1968)



Лев Давидович Ландау створив теоретичний відділ Українського фізико-технічного інституту в Харкові, де зародилася так звана «школа Ландау» — школа теоретичної фізики, яка швидко стала всесвітньо відомою. Заради обговорення сучасної фізики та співпраці з ученим до Харкова приїжджали видатні фізики з різних країн Європи. Ландау займався майже усіма галузями фізики та в багатьох з них зробив відкриття, за що його було удостоєно Нобелівської премії.

Борис Патон (1918–2020)

Борис Євгенович Патон народився в Києві. Продовжив справу свого батька, Євгена Патона, очоливши після нього Інститут електрозварювання імені Євгена Патона. Учений — перший, кого було удостоєно найвищого ступеня відзнаки незалежної України — звання «Герой України».



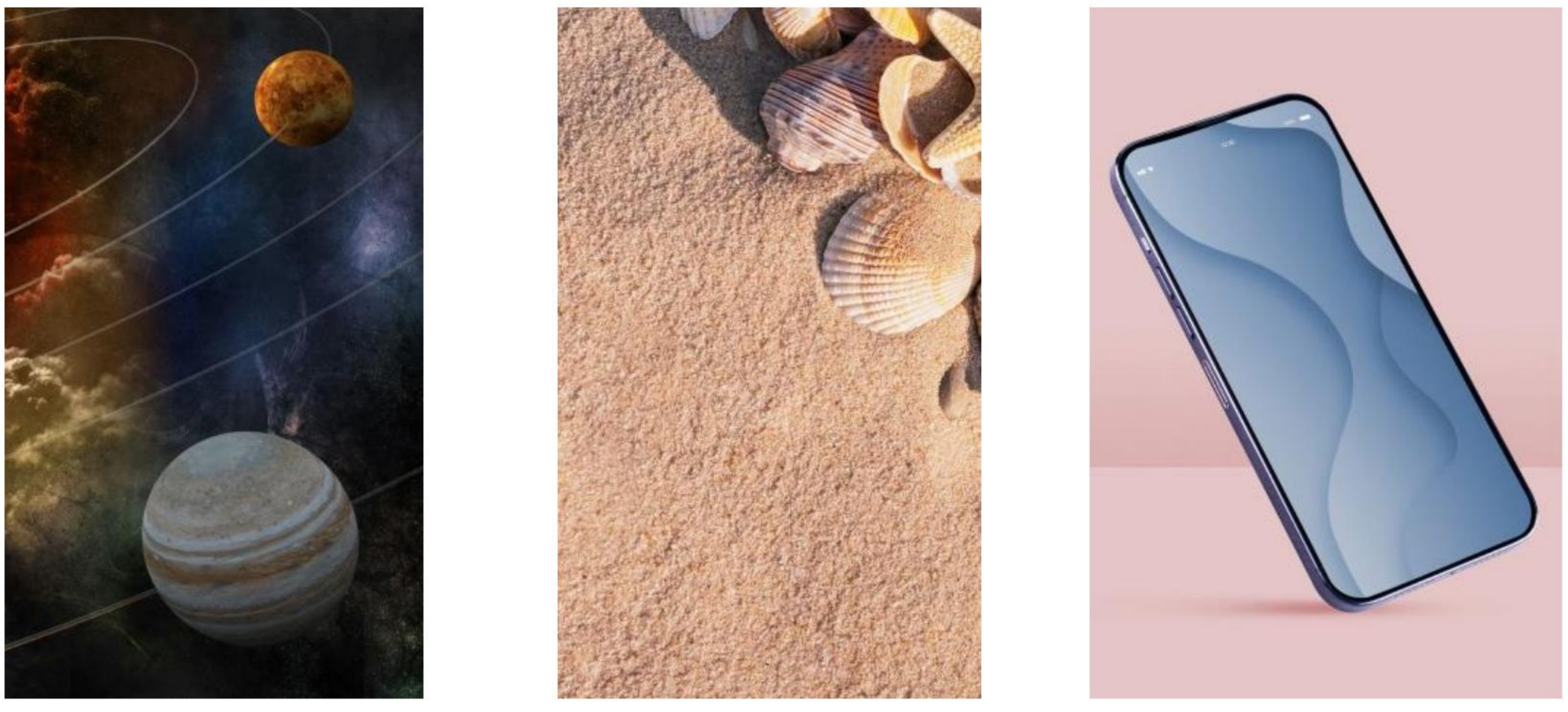
Борис Патон розробив принципово нові методи електрозварювання. Він першим у світі дослідив зварювання в космічному просторі та сприяв створюванню зварних космічних конструкцій. Завдяки дослідженням видатного вченого вперше у світі було здійснено зварювання у відкритому космосі.

4. Фізичні тіла

Фізика вивчає фізичні тіла та фізичні явища.

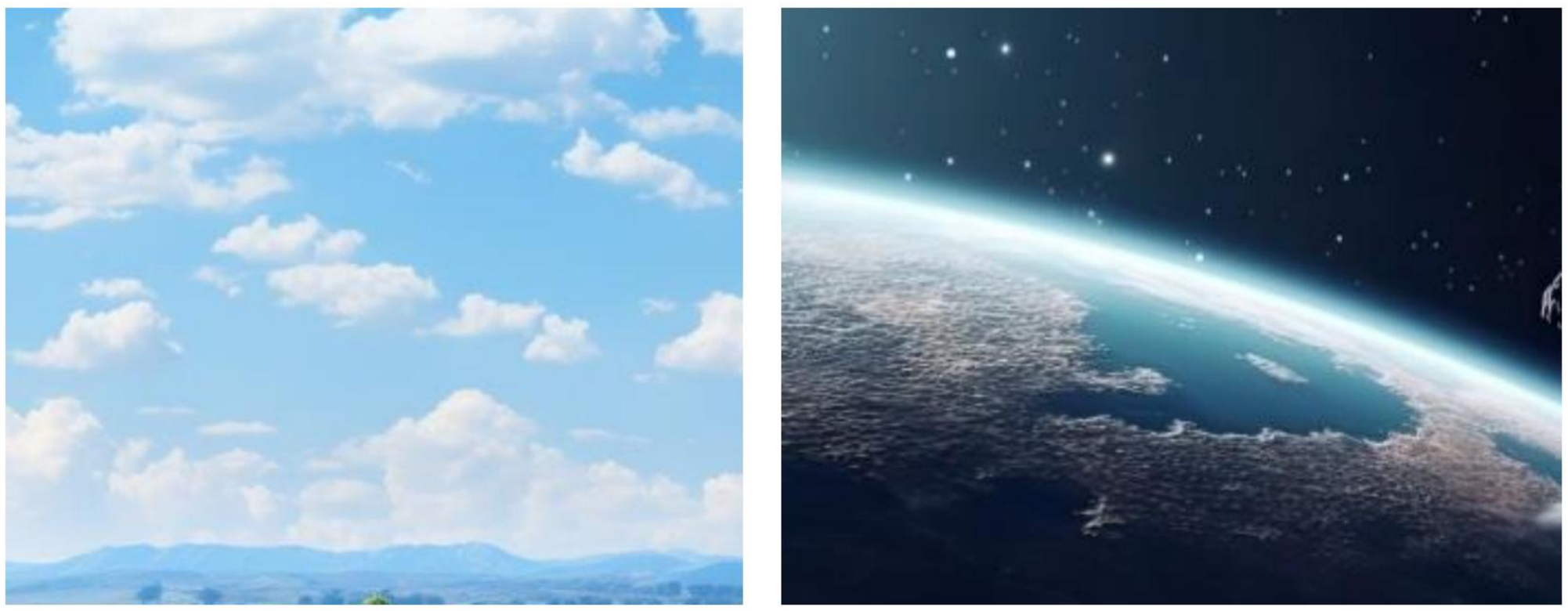
Фізичним тілом (або просто тілом) називають будь-який предмет. Наприклад, фізичними тілами є Сонце та інші зорі, планети, піщинки, автомобілі, смартфони (мал. 1.2). Люди теж є фізичними тілами.

Деякі фізичні тіла не можна побачити неозброєним оком, наприклад, повітря в кімнаті або найдрібніші частинки — атоми, з яких складаються фізичні тіла.



Мал. 1.2

Фізичне тіло може мати розмиту межу: наприклад, хмара чи повітряна оболонка Землі (мал. 1.3).



Мал. 1.3

Фізика вивчає властивості та будову фізичних тіл.

Властивостями фізичних тіл є, наприклад, розміри, площа, об’єм, маса, температура.

Про будову фізичних тіл ми вже дещо знаємо: наприклад, те, що вони складаються з атомів. Пізніше ми поговоримо про це детальніше.

Наведіть приклади фізичних тіл. Позмагайтесь одне з одним: хто зможе назвати більше фізичних тіл навколо нас? Виберіть фізичне тіло, про яке ви можете розповісти більше. Запишіть стисло свою розповідь. Якщо потрібно, проілюструйте її.

5. Фізичні явища

У курсі фізики ми вивчатимемо чимало різних фізичних явищ: механічні, теплові, звукові, електромагнітні, оптичні (світлові) тощо.

Механічні явища

До механічних явищ належать рух та взаємодія фізичних тіл. Цього навчального року їх ми і розглянемо.

На мал. 1.4 показані різні механічні явища. Розкажіть, які фізичні тіла, показані на кожному малюнку 1.4, рухаються і які тіла безпосередньо взаємодіють одне з одним.



Мал. 1.4

1.1. Наведіть свої приклади механічних явищ.

Теплові явища

До теплових явищ належать не лише нагрівання тіл, а й охолодження їх, а також, наприклад, випаровування (перетворення рідини на пару) та танення (перетворення твердого тіла на рідину). Замерзання води — теж теплове явище.

1.2. На малюнку 1.5 схематично зображено кругообіг води в природі. Розкажіть, які теплові явища під час цього відбуваються.



Мал. 1.5



Мал. 1.6

1.3. Розкажіть про теплові явища, що відбуваються у вас вдома на кухні.

1.4. Які теплові явища можна спостерігати в турпоході?

Теплові явища в техніці використовують у переважній більшості двигунів (їх називають тепловими). Прикладами теплових двигунів є двигун внутрішнього згоряння в автомобілі (мал. 1.6), двигуни теплоходів та тепловозів. Великі теплові двигуни обертають турбіни теплових електростанцій.

Ви, напевно, помітили, що, наприклад, їзда автомобіля — це водночас і механічне явище (бо автомобіль рухається), і теплове (бо в автомобілі працює тепловий двигун).

Якщо нас цікавить характер руху автомобіля (скажімо, він розганяється або гальмує), ми розглядаємо їзду автомобіля як механічне явище. А якщо ми хочемо розрахувати, наприклад, витрати палива двигуном автомобіля, ми розглядаємо їзду автомобіля як теплове явище.

Теплові явища тісно пов'язані з механічними. Наприклад, коли автомобіль гальмує, його механічний рух припиняється, але одночасно нагріваються гальмівні колодки — при цьому збільшується інтенсивність хаотичного руху частинок (атомів) у них. При роботі теплового двигуна автомобіля пальне згорає, утворений газ, розширюючись, штовхає поршень, який через передавальні механізми крутить колеса.

Звукові явища

До цих явищ належать створення звуку, його поширення та відбиття від перешкод (відлуння).

1.5. Наведіть конкретні приклади звуків та звукових явищ у природі та техніці.

Звукові явища також пов'язані з механічними, тому що поширення звуку — це рух звукових хвиль (хвиль розрідження та згущення повітря, води чи твердого тіла).

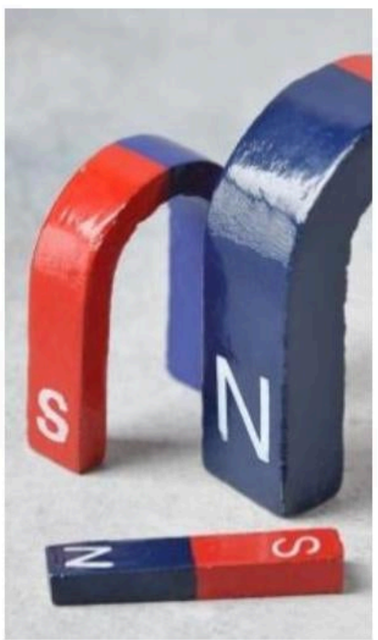
Електромагнітні явища

До таких явищ належать, наприклад, проходження електричного струму, притягування магнітів, робота електричних двигунів, розряд блискавки, робота радіо та телебачення.

1.6. Розкажіть про електричні та магнітні явища, використовуючи малюнок 1.7.







Мал. 1.7

Тривалий час електричні та магнітні явища вивчали окремо. Ніхто не бачив зв'язку між цими явищами, поки в першій половині XIX століття вчені не виявили, що провідники, якими протікає електричний струм, взаємодіють через магнітне поле.

Електромагнітні явища пов'язані і з механічними явищами, і з тепловими: наприклад, провідник, яким протікає струм, нагрівається, а якщо в провіднику, розташованому поруч із магнітом, увімкнути струм, він починає рухатися (на цьому заснована дія електродвигунів).

Оптичні (світлові) явища

Приклади оптичних (світлових) явищ — випромінювання, поширення, відбивання та поглинання світла.

1.7. Розкажіть про світлові явища, використовуючи малюнок 1.8.



Мал. 1.8

У другій половині XIX століття вчені виявили, що світло має електромагнітну природу (воно є електромагнітними хвилями), тому світлові явища — окремий важливий вид електромагнітних явищ.

Світлові явища пов'язані з тепловими: по-перше, сильно нагріті тіла випромінюють світло (найяскравішим прикладом є Сонце), по-друге, тіла під дією світла нагріваються (усі люблять грітися на сонечку, коли не дуже спекотно).

Світлові явища пов'язані і з механічними явищами, тому що світло, що падає на поверхню, тисне на цю поверхню. На цьому засновано, наприклад, дія «фотонних зорельотів», з якими ви могли ознайомитися в науково-фантастичних романах або кінофільмах.

Інші природні явища

Не всі природні явища є фізичними: існують, наприклад, також хімічні та біологічні явища. Хімічні явища вивчає *хімія* — наука про речовини, їхні властивості й перетворення на інші речовини (такі перетворення називають хімічними реакціями), а біологічні явища (усе, що пов'язане із життям) вивчає *біологія*.

Усі природні явища так чи інакше взаємозалежні. Наприклад, під час багатьох хімічних реакцій відбувається нагрівання тіл (приклад такої реакції — горіння деревини), а нагрівання — це фізичне явище. Чимало біологічних процесів обумовлені фізичними явищами: наприклад, зір заснований на сприйнятті світла, тому він пов'язаний з оптичними явищами. А слух ґрунтується на сприйнятті звуку, тому слух пов'язаний зі звуковими явищами. Наші думки мають електромагнітну природу, тому що думки — це нервові імпульси в мозку, а вони є слабкими електричними струмами.

6. Макро-, мікро- та мегасвіт

Макросвіт

Один давньогрецький філософ сказав: «Людина є мірою всіх речей». І справді, поняття «великий» і «малий» ми пов'язуємо з розмірами *людини*: наприклад, слона ми називаємо великим, а мишу — малою. З цієї самої причини одиницею довжини вчені вибрали *метр* — довжину, співвідносну з розмірами людського тіла.

Світ тіл, розміри яких можна порівняти з розміром людини, називають *макросвітом*. Хоча це слово походить від грецького слова «макрос», що означає «великий», у даному випадку його слід розуміти як «середній».

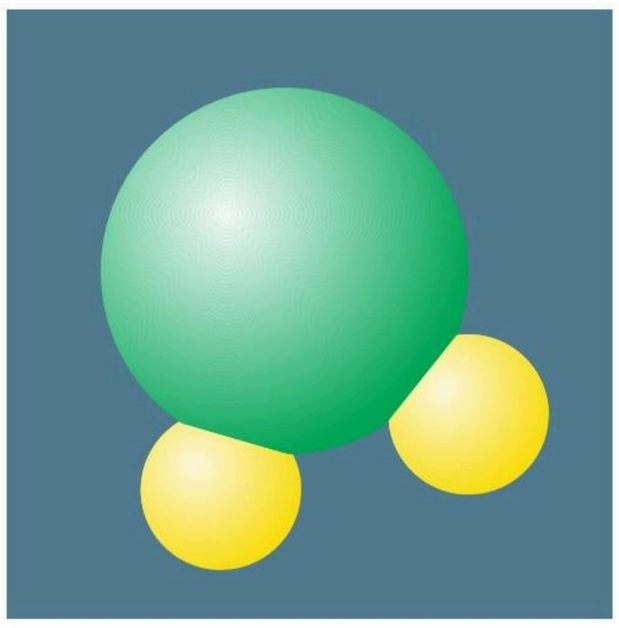
До макросвіту належать тіла, які нас оточують: наприклад, люди, тварини, автомобілі, споруди, літаки.

У нашому курсі фізики законам макросвіту ми приділимо значну увагу.

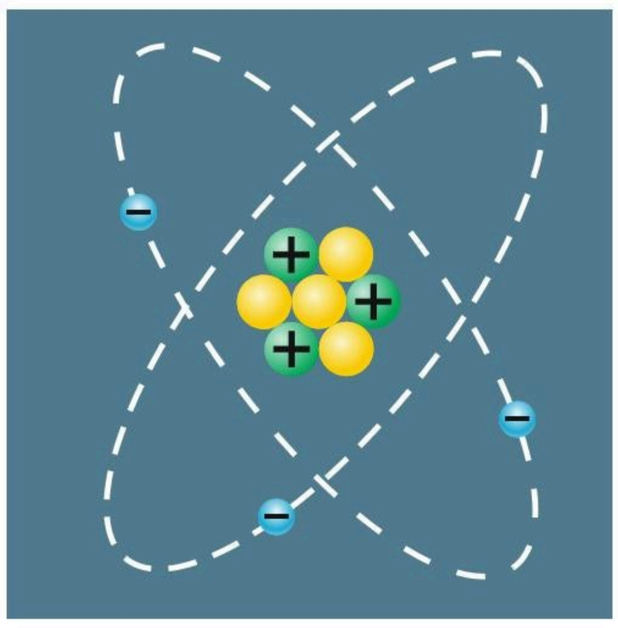
Мікросвіт

Світ частинок, з яких складається речовина, називають мікросвітом. Перша частина цього слова походить від грецького «мікрос», що означає «малий». Та й справді, розміри найдрібніших частинок речовини, які називають *молекулами*, становлять мільйонні долі міліметра! (У мільйони разів менші від міліметра.)

Молекули складаються зі ще менших частинок — *атомів*, які, своєю чергою, складаються зі ще менших частинок! Серед цих частинок є, наприклад, електрони, рух яких по проводах є електричним струмом, без якого неможливо уявити сучасне життя.



Мал. 1.9



Мал. 1.10

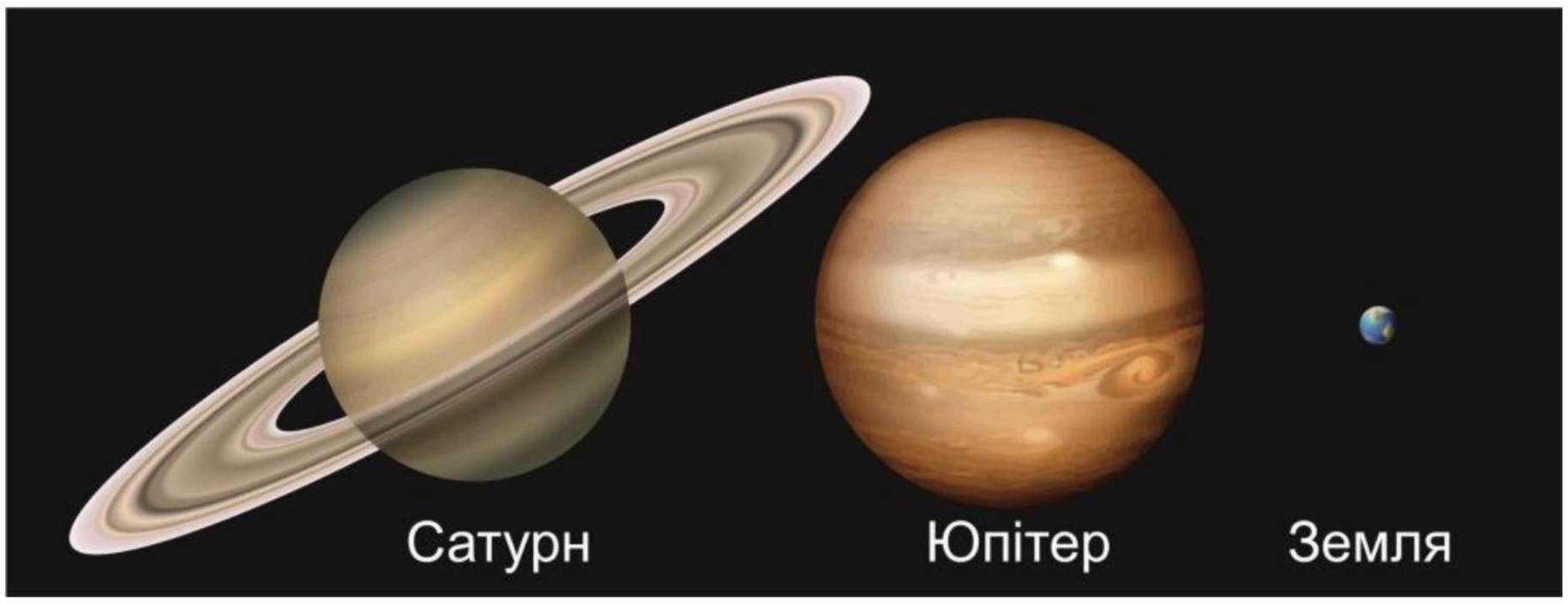
На малюнку 1.9 зображена модель молекули води, яка складається з трьох атомів. А на малюнку 1.10 показана модель будови

атома: навколо ядра рухаються електрони. Атомне ядро складається із дрібніших частинок, між якими діють величезні сили. З цими силами пов'язана *ядерна енергія*, яка на атомних електростанціях перетворюється в енергію електричного струму. З наведених прикладів видно, що макросвіт та мікросвіт «проникають» один в одного.

Мегасвіт

Мегасвітом називають світ космічних тіл. Це слово походить від грецького слова «мега», що означає «величезний».

Перший крок у вивченні мегасвіту зробив уже знайомий вам Галілей: про ці його відкриття ми розповіли вище. У середині XVII століття нідерландський учений Христіан Гюйгенс відкрив, що у Сатурна, другої за величиною планети Сонячної системи, є гігантське кільце. На малюнку 1.11 подано зроблені за допомогою телескопа фотографії Юпітера і Сатурна (поряд з ними у тому самому масштабі зображено Землю).



Мал. 1.11



Мал. 1.12

За допомогою сучасних телескопів астрономи відкрили безліч величезних зоряних систем, кожна з яких складається із сотень мільярдів зір! Такі зоряні системи назвали *галактиками*. Одну з них показано на малюнку 1.12. Галактики утворюють скупчення. Усю доступну для спостережень частину Всесвіту — а це мільярди галактик — називають *Метагалактикою*.

7. Рух небесних тіл. Розвиток уявлень про будову Сонячної системи

У давнину люди вважали, що центром світу є Земля, а Сонце, Місяць і планети рухаються навколо неї. Таке уявлення про світобудову називають геоцентричною системою (від грецького «ге» — Земля).

У геоцентричній системі Сонце і Місяць рухаються майже по колах навколо Землі. А ось рух планет доволі чудернацький: вони рухаються небом то в один бік, то в інший, часом описуючи дивні «петлі».

У XVI столітті польський астроном Миколай Коперник припустив, що рух планет буде легше зрозуміти, якщо його розглядати не відносно Землі, а *відносно Сонця*. Використовуючи відомі йому астрономічні таблиці, він зробив розрахунки — і зробив відкриття: виявилося, що навколо Сонця всі планети, включаючи Землю, рухаються траєкторіями, близьких до колових.

Зважаючи на це, Коперник змінив «картину світу», помістивши у центр світобудови *Сонце*. Цю систему світу назвали геліоцентричною (від грецького «геліос» — Сонце).

Розвиваючи вчення Коперника, італійський учений Джордано Бруно припустив, що зорі — це далекі сонця, навколо яких обертаються планети, заселені розумними істотами. Таке «фантастичне» уявлення про Всесвіт суперечило Біблії, тому церковний суд (інквізиція) засудив ученого до спалення на багатті. Джордано зійшов на вогонь і знайшов безсмертя: пам'ять про Бруно та його вірність своїй ідеї збереглася у віках.

Про що ми дізнались?

- Закономірності природних явищ зумовлені законами природи.

- Знання законів природи дозволяє передбачати та використовувати природні явища.
- Фізика — найбільш загальна з наук, що вивчають закономірності природних явищ.
- Фізика вивчає властивості та будову фізичних тіл, а також фізичні явища.
- Приклади фізичних явищ: механічні, звукові, теплові, електричні, магнітні, оптичні явища.

Домашній експеримент



1.8. Поспостерігайте за будь-яким фізичним явищем у себе вдома. Опишіть стисло, які закономірності цього явища вдалося помітити (увімкнули світло, закипає вода в електричному чайнику тощо).

Додаткові запитання та завдання



Початковий і середній рівні

1.9. Опишіть стисло відомі вам закономірності природних явищ, окрім згаданих у тексті.

1.10. Які вам відомі прикмети про погоду, окрім згаданих у тексті?

1.11. Наведіть приклади трьох фізичних тіл, які мають спільну характеристику. Чим відрізняються ці тіла?

1.12. Наведіть приклади механічних, звукових, теплових, електричних, магнітних та оптичних явищ, які ви спостерігали сьогодні.

Достатній рівень

1.13. Знайдіть в інтернеті інформацію про «дивовижні природні явища». Які з цих явищ можна зарахувати до фізичних явищ? Чим вас здивували ці явища?

1.14. Наведіть приклади зв'язку між різними фізичними явищами.

§ 2. НАУКОВЕ ПІЗНАННЯ ПРИРОДИ

1. Дослідження: спостереження, гіпотези, експеримент.
2. Метод наукового пізнання природи.
3. Ядро та куля падають однаково!

1. Дослідження: спостереження, гіпотези, експеримент

Нові закономірності та закони природи вчені відкривають, використовуючи метод наукового пізнання. Ознайоммося з цим методом на прикладі досліду, доступного кожному.

Спостерігаючи за падінням різних тіл, можна побачити, що важкі тіла падають швидше, ніж легкі. Наприклад, металева куля падає швидше від паперового аркуша (мал. 2.1).

У результаті таких спостережень виникає припущення (учені називають його гіпотезою) про закономірність: «Важкі тіла падають швидше, ніж легкі».

Але чи завжди це справедливо? Чи може все-таки легше тіло падати швидше, ніж важче?



Мал. 2.1



Мал. 2.2

Щоб відповісти на це запитання, проведемо такий дослід.

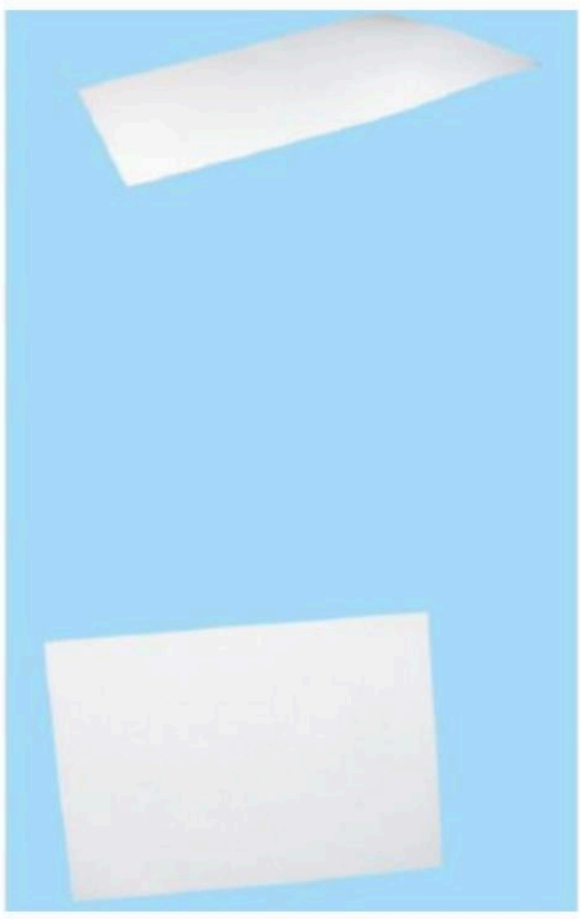
Проведемо дослід

Відпустимо одночасно аркуш паперу та паперову кульку, зроблену з *половини* такого самого аркуша. Ми побачимо, що кулька падає швидше за аркуш, хоча кулька легша (мал. 2.2)!

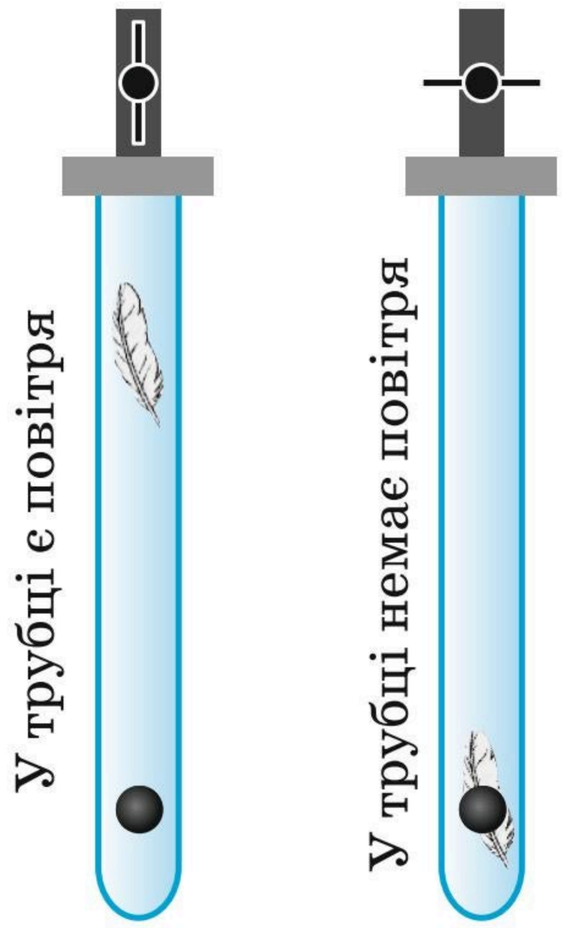
Цей дослід спростовує сформульоване вище припущення. І породжує нове запитання: чим зумовлене те, що аркуш паперу та кулька, зроблена з такого ж аркуша, падають по-різному?

Уважніше придивившись до падіння аркуша і кульки, можна побачити, що кулька падає вертикально вниз, а аркуш кружляє в повітрі. Це нове спостереження породжує нову гіпотезу: падіння аркуша гальмується повітрям. А для паперової кульки роль опору повітря менша, тому вона «падає каменем».

Щоб перевірити цю гіпотезу, проведемо другий дослід. Візьмемо два однакові аркуші щільного паперу і розташуємо перший аркуш горизонтально, а другий вертикально. Якщо наша гіпотеза про роль опору повітря правильна, другий аркуш повинен падати швидше, ніж перший. Відпустимо обидва аркуші одночасно. Ми побачимо, що вертикальний аркуш насправді падає швидше, розтинаючи повітря, подібно до ножа (мал. 2.3). Цей дослід підтверджує нашу гіпотезу, що падіння аркуша гальмується повітрям.



Мал. 2.3



Мал. 2.4 а, б

Підсумуємо результати нашого дослідження. Ми встановили, що опір повітря впливає на падіння тіл: що більшу роль відіграє опір повітря, то повільніше тіло падає.

У зв'язку з цим народжується така *гіпотеза*: за відсутності опору повітря всі тіла будуть падати однаково.

Щоб перевірити справедливість цієї гіпотези, необхідно поставити новий дослід. Але як «знищити» опір повітря?

Проведемо дослід

Покладемо в скляну трубку (трубку Ньютона) гумову кульку і пір'їнку та перевернемо її. Ми побачимо, що кулька падає значно швидше за пір'їнку (мал. 2.4 а).

Відкачаємо тепер із трубки повітря та повторимо дослід. Ми побачимо, що тепер кулька та пір'їнка падають однаково (мал. 2.4 б)!

Отже, дослід підтвердив нашу гіпотезу: за відсутності опору повітря всі тіла падають однаково.

2. Метод наукового пізнання природи

Вивчаючи падіння тіл, ми використали *метод наукового пізнання*, основи якого заклав Галілео Галілей.

Як ви могли помітити, цей метод включає три етапи.

1. Спостереження. Спостерігаючи фізичне явище, учений помічає певну закономірність у його перебігу.

2. Гіпотеза. На підставі спостережень учений формулює гіпотезу про цю закономірність.

3. Фізичний експеримент. Гіпотезу вчений перевіряє під час фізичного експерименту, який ставить так, щоб він однозначно дав відповідь на запитання: чи справедлива сформульована гіпотеза.

Ставлячи дослід, учений створює особливі умови протікання фізичного явища, яке його цікавить, намагаючись «очистити» дане явище від «перешкод». Наприклад, щодо падіння тіл ми зменшували роль опору повітря, використовуючи трубку, з якої викачали повітря.

Сутність методу наукового пізнання природи англійський учений Майкл Фарадей сформулював так: «Мистецтво вченого полягає у тому, щоб ставити запитання природі та розуміти її відповіді». Використовуючи цей мудрий вислів Фарадея, відмінність досліду від спостереження можна сформулювати так: спостереження народжує запитання до природи, а дослід дає відповідь. Щоправда, при цьому дослід може породжувати нові запитання.

Які спостереження зроблено в описаному вище досліді падіння тіл?

Які гіпотези було сформульовано?

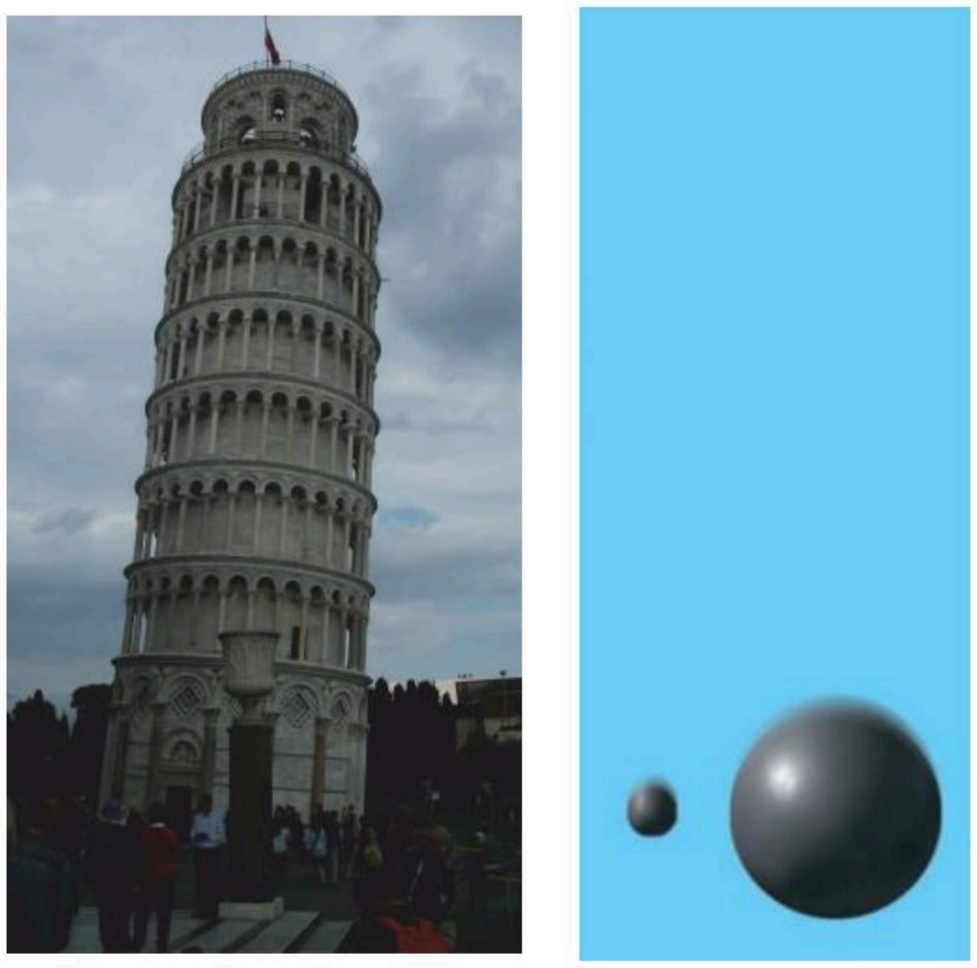
Чи всі гіпотези виявилися справедливими?

Який головний висновок проведеного досліду?

3. Ядро та куля падають однаково!

В італійському місті Піза стоїть всесвітньо відома похила вежа. Пізанська вежа (мал. 2.5 а) знаменита красою та загрозливо великим нахилом. Але саме вона має прямий стосунок до знаменитого фізичного досліду, поставленого в другій половині XVI століття.

З високої похилої вежі дуже зручно кидати різні тіла та спостерігати за їх падінням. Тому саме з Пізанської вежі на пропозицію Галілея кинули одночасно свинцеву кулю і гарматне ядро, щоб перевірити його гіпотезу, що всі тіла падають однаково, якщо можна знехтувати опором повітря. Деякі сучасники Галілея стверджують, що він особисто брав участь у проведенні цього досліду. На подив більшості присутніх, Галілей мав рацію: куля і ядро падали практично однаково (мал. 2.5 б)!



а б

Мал. 2.5

Чому ж присутні були здивовані? Річ у тім, що протягом двох тисяч років загальноприйнятим було вчення Арістотеля про падіння тіл. Ґрунтуючись лише на спостереженнях і не ставлячи дослідів, цей давньогрецький учений стверджував, що важкі тіла завжди падають швидше за легкі.

Галілей піддав сумніву вчення Арістотеля, тому що, уважно спостерігаючи за падінням різних тіл, він помітив, що роль опору повітря для них неоднакова. І вчений припустив, що відмінність у падінні тіл зумовлена лише опором повітря. Він висловив *гіпотезу*: якщо опором повітря можна знехтувати, важкі та легкі тіла падають однаково.

На відміну від Арістотеля, Галілей вирішив перевірити свою гіпотезу дослідженням. Для дослідної перевірки своєї гіпотези він вибрав свинцеву кулю та чавунне ядро, тому що для них роль опору повітря під час падіння невелика. Як ви вже знаєте, дослід підтвердив гіпотезу Галілея.

Про що ми дізнались?

- Метод наукового пізнання природи полягає в тому, що на підставі спостережень за природними явищами вчений формулює гіпотези про закономірності перебігу цих явищ, а потім перевіряє ці гіпотези на досліді.
- Метод наукового пізнання природи запропонував і першим реалізував Галілео Галілей.

Домашній експеримент

2.1. Проведіть самостійно описані вище спостереження та досліди з аркушем паперу та паперовою кулькою. Зробіть висновки і стисло запишіть їх.

2.2. Чи може опір повітря «зупинити» падіння тіла? Якщо так, то за яких умов це може статися?[1]

Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

2.3. Наведіть приклади спостережень, у яких вам вдалося помітити якусь закономірність. Як би можна було сформулювати відповідну гіпотезу? Який дослід міг би перевірити цю гіпотезу?

Достатній рівень

2.4. Яку гіпотезу перевіряв Галілей дослідом з Пізанською вежею?

2.5. Чи підтвердив дослід цю гіпотезу?

2.6. Чому Галілей вибрав для свого досліду свинцеву кулю та чавунне ядро?

---

[1] *Відповідь*. Може, якщо є висхідний потік повітря. На висхідних потоках повітря ширяють водяні хмари, птахи і дельтаплани.

§ 3. РЕЧОВИНА І ПОЛЕ. БУДОВА РЕЧОВИНИ

1. Речовина і поле.
2. Основні положення атомно-молекулярного вчення.
3. Початкові відомості про будову атома.

1. Речовина і поле

Усе, що існує у Всесвіті (тобто в усій світобудові), називають *матерією*. Відповідно до сучасних уявлень, матерія складається з речовини та полів.

Речовина

Усі фізичні тіла складаються з речовини. Прикладами речовин є вода і повітря, золото і сажа, глина і деревина.

3.1. Подивіться довкола. З яких речовин складаються фізичні тіла довкола вас?

3.2. Наведіть приклад фізичного тіла, що складається з одного виду речовини, та приклад фізичного тіла, що складається з кількох різних речовин.

Сьогодні відомі мільйони різних речовин, багато з яких створено штучно, як, наприклад, пластмаси.

Ми вже знаємо, що речовина може існувати у трьох станах: газоподібному, рідкому і твердому. Найпоширеніший приклад газоподібного стану речовини — повітря, а найпоширеніший приклад рідкого стану — вода. Прикладами твердих тіл за кімнатної температури є майже всі метали. Хоча з цього загального правила є доволі поширений виняток.

3.3. Який відомий вам метал за кімнатної температури є рідиною?[1]

Чимало речовин можуть перебувати в усіх трьох станах — різновид стану залежить переважно від температури.

Наприклад, усі метали за доволі високої температури плавляться, перетворюючись на рідини, а за ще більшої температури метали навіть киплять і стають газами.

---

[1] *Відповідь*. Ртуть.

А майже всі речовини, що за кімнатної температури є газами, наприклад повітря, — за дуже низької температури зріджуються, тобто перетворюються на рідини. За подальшого зниження температури ці речовини тверднуть. Важко уявити собі «залізний газ» або «тверде повітря», але вони існують!

Вода за кімнатної температури може бути одночасно в рідкому стані (власне вода) і в газоподібному (водяна пара). А за 0° С — в усіх трьох станах. До складу повітря завжди входить деяка кількість водяної пари.

Поле

Поряд з речовиною в природі існують також фізичні поля, за допомогою яких фізичні тіла взаємодіють одне з одним.

Наприклад, електрично заряджені тіла взаємодіють за допомогою електричного поля.

Існують два види електричних зарядів — позитивні та негативні. Однойменно заряджені тіла (обидва позитивно заряджені або обидва негативно заряджені) відштовхуються, а різнойменно заряджені (позитивно заряджене і негативно заряджене тіла) — притягуються.

Магніти притягуються або відштовхуються за допомогою магнітного поля.

Світло і радіохвилі — це електромагнітні хвилі, які є електромагнітним полем, що поширюється в просторі. Електромагнітні хвилі є комбінацією змінних електричного і магнітного полів. Наприклад, коли ви розмовляєте по мобільному телефону, ваші телефони працюють як радіопередавачі та радіоприймачі, випускаючи та приймаючи електромагнітні хвилі.



Крім того, усі фізичні тіла притягуються одне до одного за допомогою гравітаційного поля. Помітним це тяжіння стає тоді, коли хоча б одне з тіл є планетою або зіркою. Наприклад, саме внаслідок гравітаційного тяжіння Місяць не відлітає від Землі, а утримується на круговій орбіті, а Земля та інші планети утримуються на своїх орбітах, рухаючись навколо Сонця. Стигле яблуко, що відірвалося від гілки яблуні, падає на Землю теж внаслідок гравітаційного тяжіння. Ми навели приклад з яблуком, тому що саме падіння яблука, згідно з легендою, навело видатного англійського фізика Ісаака Ньютона на ідею всесвітнього тяжіння.

Хоча за допомогою точних дослідів це тяжіння можна знайти і в порівняно невеликих тіл.

У першій половині XX століття вчені встановили, що речовина і поле можуть перетворюватися одне в одне. Наприклад, світло і тепло, що йдуть від Сонця, — це електромагнітні хвилі, що зародилися із сонячної речовини в термоядерних реакціях. У результаті речовини в Сонці стає все менше: кожну секунду воно «худне» приблизно на 4 мільйони тонн! Але, на щастя, ми й наші далекі нащадки встигнемо зробити багато добрих справ, поки Сонце світитиме так само — у нього «в запасі» ще кілька мільярдів років.

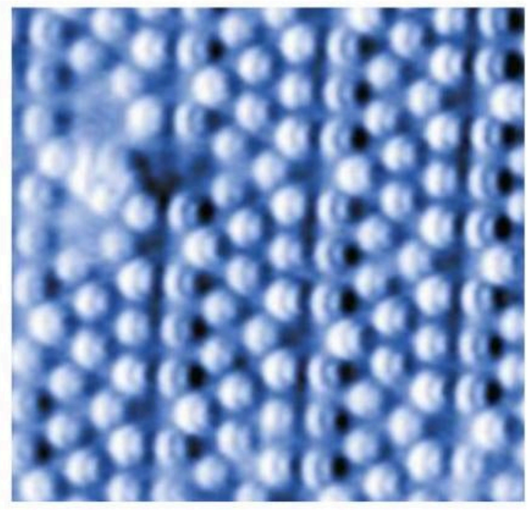
Астрономи вважають Сонце порівняно невеликою зіркою: сьогодні відомі зірки, у тисячі разів більші, ніж наше «маленьке» Сонце, яке в 109 разів більше за Землю за розмірами і в 333 тис. разів за масою.

2. Основні положення атомно-молекулярного вчення

Усі речовини складаються з найдрібніших частинок (атомів та молекул).

Атоми

Припущення, що ці речовини складаються з найдрібніших частинок, одним з перших висловив ще V столітті до н. е. давньогрецький учений Демокріт. Найдрібніші частинки речовини Демокріт назвав атомами.



Мал. 3.1

Геніальна гіпотеза Демокріта чекала свого дослідного підтвердження понад дві тисячі років. Перші досліди, що підтвердили існування атомів, були поставлені лише в XIX столітті, а у XX столітті вчені змогли навіть «побачити» ато-

ми. На малюнку 3.1 наведено фотографію, зроблену за допомогою спеціального мікроскопа, де видно окремі атоми.

Але навіть геніальні люди можуть помилятися: Демокріт припускав, що атоми — неподільні (у перекладі з давньогрецької «атом» означає *неподільний*), проте у XX столітті вчені змогли поділити атом на частинки.

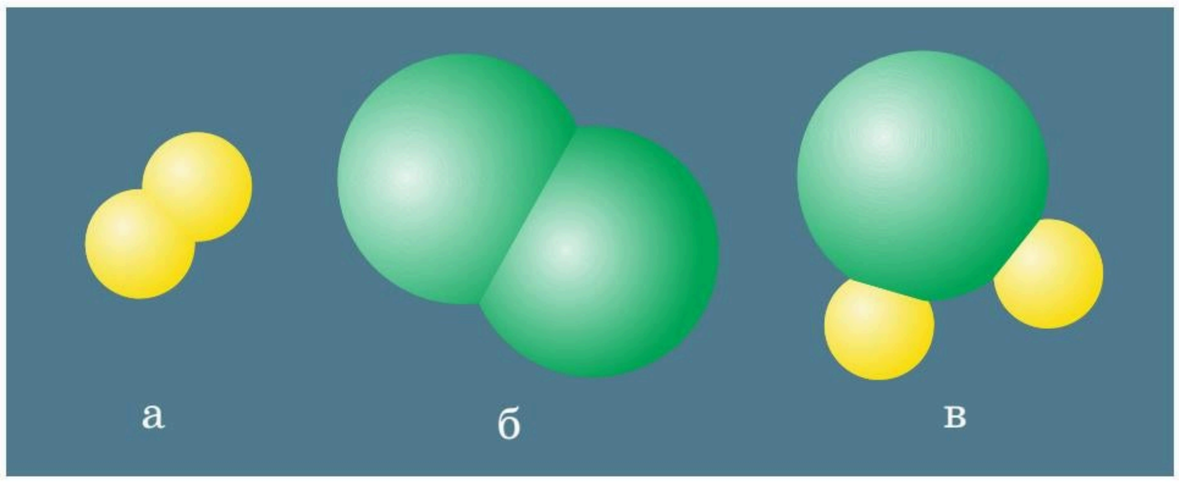
Атомами називають дрібні хімічно неподільні частинки речовини.

Слово «хімічно» означає, що атоми не можна розділити на складові в хімічних реакціях. Однак атоми можна розділити «фізично», наприклад, унаслідок зіткнень з іншими швидкими частинками.

Найлегші атоми — це атоми Гідрогену та Гелію. Саме вони є найпоширенішими атомами у Всесвіті: наприклад, наше Сонце складається майже повністю з цих двох видів атомів.

Молекули

Атоми притягуються один до одного, поєднуючись у молекули. Будову деяких молекул схематично показано на малюнку 3.2, де різні атоми зображені кульками різних кольорів. Молекула водню H_2 (мал. 3.2 а) складається із двох найлегших атомів — атомів Гідрогену H, а молекула кисню O_2 (мал. 3.2 б) — із двох атомів Оксигену O.



Мал. 3.2

Водень H_2 та кисень O_2 за кімнатної температури є газами. А вода H_2O, кожна молекула якої складається із двох атомів Гідрогену та одного атома Оксигену (мал. 3.2 в), за кімнатної температури може перебувати в рідкому та газоподібному станах.

Крім того, водень, кисень та вода дуже по-різному беруть участь у хімічних реакціях.

Так, *водень горить у кисні*, і в результаті цієї хімічної реакції утворюється вода $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ (на цьому заснована дія перспективних водневих двигунів, які дуже ефективні і не забруднюють атмосферу).

А водою, як відомо, гасять вогонь.

Цей приклад показує, що властивості речовини визначають видом його молекул: найдрібнішою частинкою цієї речовини є молекула цієї речовини.

Різних видів атомів існує трохи більше сотні, а складених із цих атомів різних видів молекул відомо декілька мільйонів! Тут можна провести аналогію з літерами та словами: у нашому алфавіті 33 літери, а слів, складених із літер, існують сотні тисяч. Зауважимо, що частина молекул створена штучно.

Розміри атомів та молекул

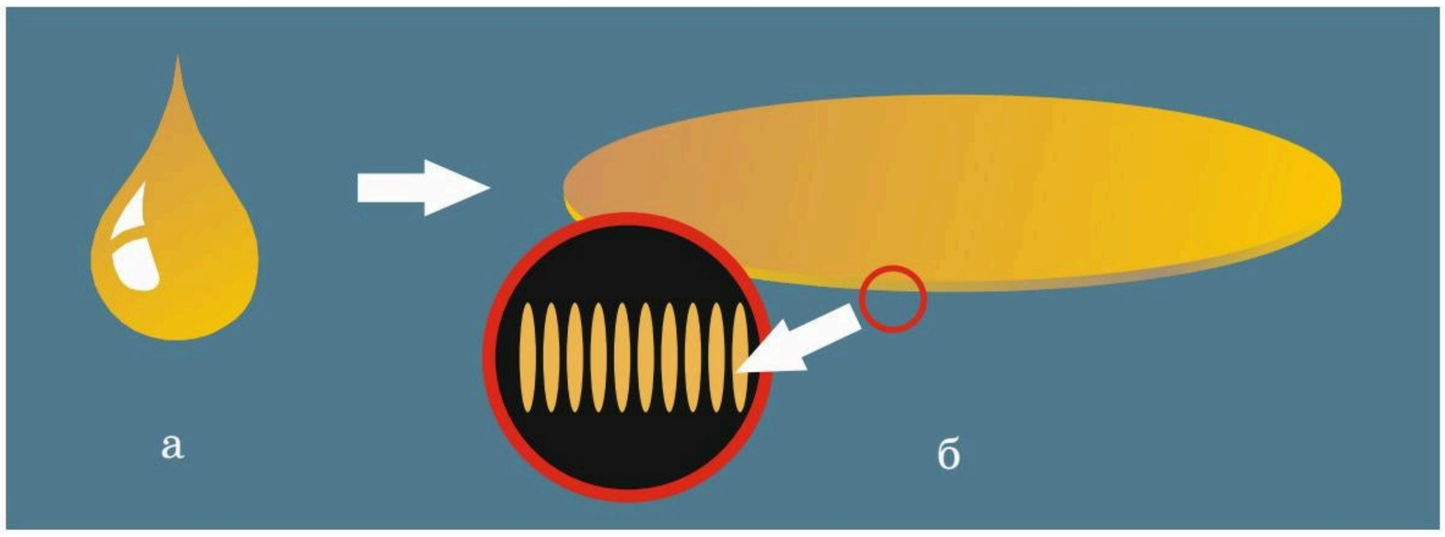
Атоми та молекули за «людськими» мірками надзвичайно малі: наприклад, розмір молекули води — приблизно 3 десятимільйонні частини міліметра. Щоб уявити таку «малість», вдамося до образного порівняння. Молекула води приблизно в стільки разів менша за яблуко, у скільки разів яблуко менше за земну кулю! Уявіть собі величезну Землю, «зроблену з яблук», — і ви певною мірою уявите собі яблуко, що складається з молекул (у яблуку більшість молекул становлять молекули води).

Оцініть, скільки разів потрібно було б збільшити молекулу води, щоб її можна було розглянути неозброєним оком (врахуйте при оцінці, що розмір крапки в цій книзі — близько 0,3 мм). Яким би став за такого збільшення ваш зріст?

Як же вчені змогли виміряти такі крихітні розміри молекул? Ось один із дослідів, який можна провести навіть у домашніх умовах.

Проведемо дослід

Крапнемо на поверхню води краплю соняшникової олії. Утворюється олійна плівка, яка поступово розтікатиметься поверхнею води. При цьому товщина олійної плівки стає все меншою. Аж доти, доки товщина плівки стане приблизно дорівнювати розміру молекули олії.



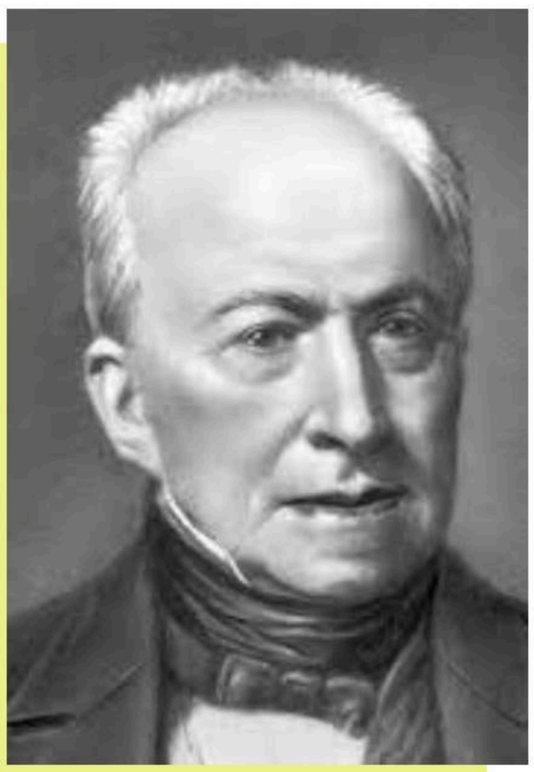
Мал. 3.3

Схематично це зображено малюнку 3.3, де враховано, що молекули олії мають довгасту форму і «вибудовуються» зазвичай на поверхні води перпендикулярно до цієї поверхні.

Вимірявши об'єм краплини й максимальну площу олійної плівки, що утворилася з цієї краплини, можна оцінити розмір молекули олії. Зауважимо, що описаний дослід можна вважати одним із дослідних обґрунтувань існування молекул.

Атоми та молекули перебувають у безперервному хаотичному русі.

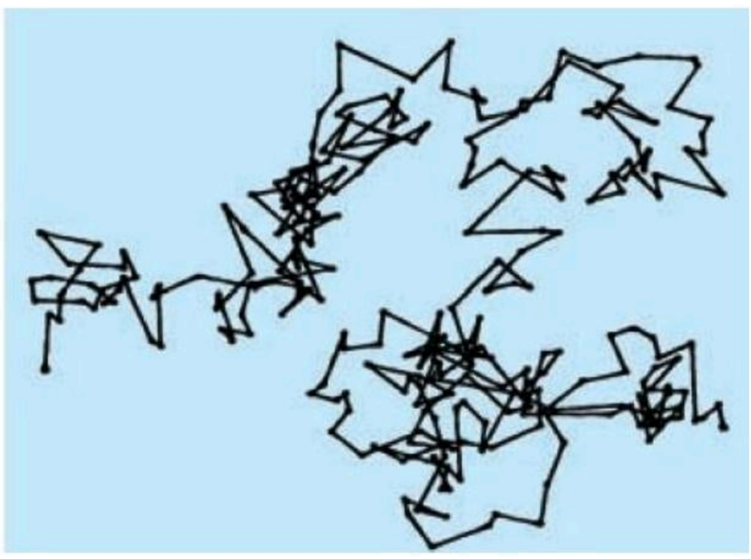
Броунівський рух



У першій половині XIX ст. англійський ботанік Роберт Броун (1773–1858) помітив, що крихітні частинки квіткового пилку, що плавають у воді, перебувають у безперервному безладному (хаотичному) «танці».

На малюнку 3.4 схематично показано рух однієї з таких частинок: відрізками з'єднані її положення через 1 хв. Якщо відзначати положення частки через 1 с, то ми побачили б, що між зазначеними на цьому малюнку положеннями частинка рухається теж такою самою заплутаною ламаною.

Учений припустив, що спостережуваний ним хаотичний рух частинок пилку зумовлений тим, що ці частинки живі. Дотримуючись наукового методу, Броун вирішив перевірити свою гіпотезу в дослідженні й повторив дослід, замінивши частинки пилку на частинки сажі. Але й неживі частинки сажі «танцювали», як живі!



Мал. 3.4

Тільки на початку XX ст. вчені знайшли пояснення броунівському руху (так назвали фізичне явище, яке відкрив Броун). Цими вченими були видатний фізик Альберт Ейнштейн, який жив і працював у Швейцарії, Німеччині та США, а також польський фізик Маріан Смолуховський.

Виявилося, що броунівський рух частинок (не тільки в рідинах, а й у газах) зумовлений ударами молекул, які здійснюють хаотичний безладний тепловий рух.

Досліди показали, що при нагріванні рідини або газу броунівський рух стає більш інтенсивним. Це означало, що за підвищення температури швидкість хаотичного руху збільшується. З цієї причини описаний рух молекул іноді називають тепловим.

Зверніть увагу: броунівський рух можна спостерігати лише в мікроскоп, тому що цей рух здійснюють дуже малі частинки. А, скажімо, «танець порошинок» у сонячному промені, який можна спостерігати неозброєним оком, пояснюється не хаотичними ударами молекул, а невеликими потоками повітря.

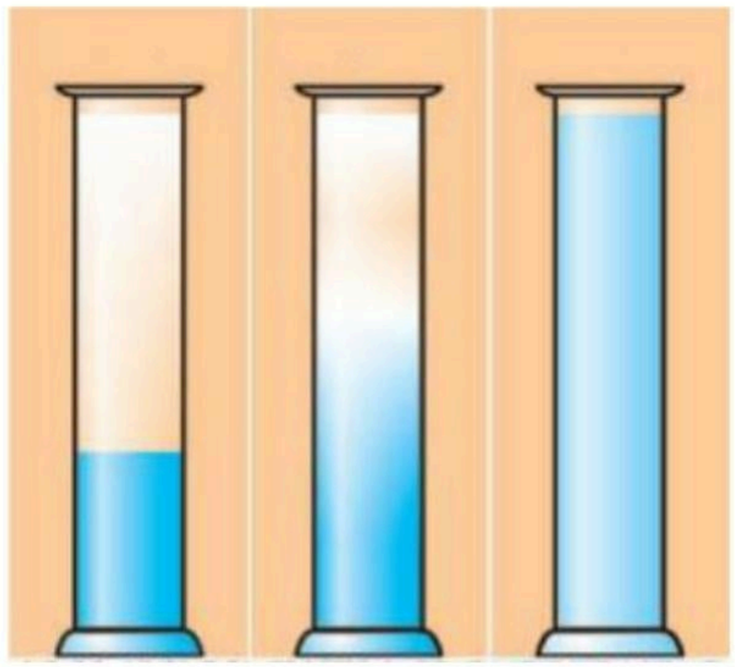
Зауважимо, що броунівський рух є дослідним підтвердженням як існування молекул, так і того, що молекули перебувають у невпинному хаотичному русі.

Дифузія

Розглянемо ще одне дослідне підтвердження руху молекул.

Проведемо дослід

Наллємо в циліндричний високий скляний посуд розчин мідного купоросу (Купрум сульфату), який має блакитне забарвлення. Поверх цього розчину дуже обережно (наприклад, по лезу ножа) наллємо чисту воду. Вода буде вгорі, тому що чиста вода легша за розчин купоросу.



Мал. 3.5

Межа розділу рідин спочатку буде різкою (мал. 3.5 а). Але з часом ця межа буде розмиватись (мал. 3.5 б, в), і через кілька днів вся рідина в посудині набуде блідо-блакитного забарвлення.

Пояснення цього досліду полягає в тому, що внаслідок руху молекул молекули мідного купоросу проникають у воду, а молекули води — у мідний купорос.

Взаємне проникнення частинок однієї речовини в іншу, обумовлене рухом молекул, називають дифузією (від лат. «діффузіо» — *поширення*, *розтікання*).

Таким чином, дифузія є ще одним дослідним підтвердженням руху молекул.

Зауважимо, що явище дифузії життєво важливе для дихання та живлення живих організмів.

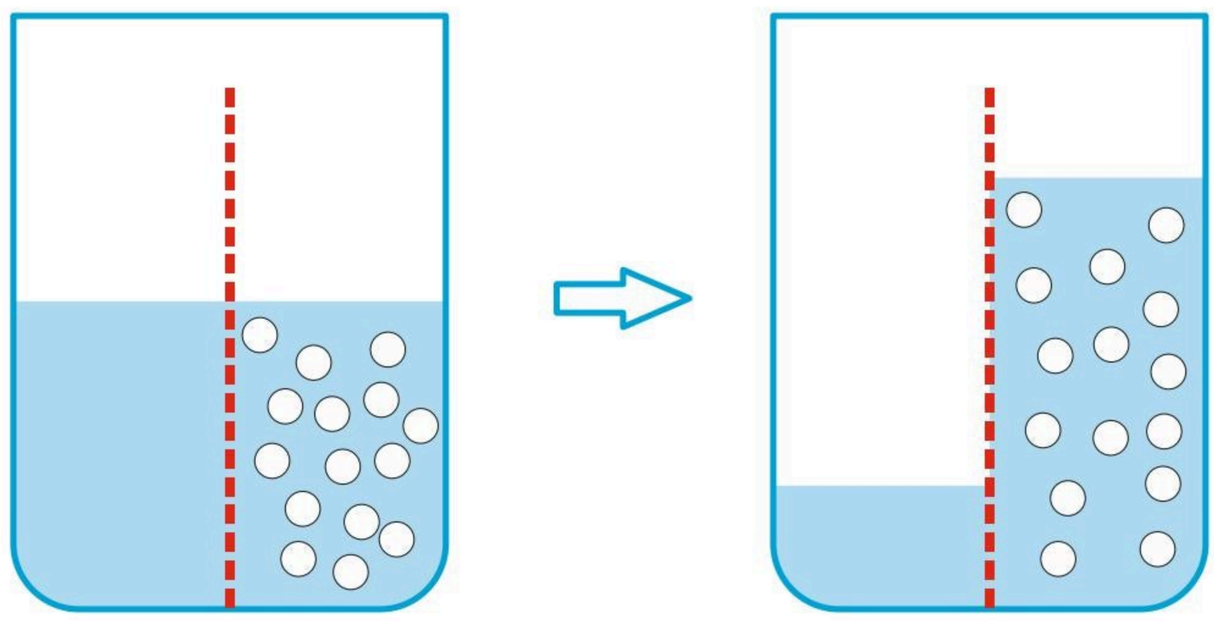
Осмос

Осмос — це випадок, коли дифузія відбувається «тільки в один бік».

Проведемо дослід

Розділимо посудину навпіл напівпроникною мембраною (можна синтетичного походження). У ній є мікроскопічні отвори (пори), через які проходять молекули води, але не проходять молекули кухонної солі.

В одну половину посудини наллємо воду, покладемо в неї кілька чайних ложечок кухонної солі і розмішаємо, так щоб не пошкодити мембрану. Коли сіль повністю розчиниться, наллємо в другу половину посудини чисту воду до такого самого рівня. Через деякий час помітимо, що рівень чистої воли знизився, а рівень солоної — піднявся. Схема цього досліду показана на малюнку 3.6.



Мал. 3.6

Чому ж чиста вода потрапляє крізь мембрану в розчин солі? Тому що внаслідок дифузії через пори мембрани, яка розділяє посудину, проходять лише молекули води.

Узагальнимо тепер наш дослід. У ньому є:

- *розчинник* (у даному випадку — вода),
- *розчинена речовина* (у даному випадку — кухонна сіль),
- *мембрана*, проникна тільки для розчинника.

Дифузію розчинника через напівпроникну мембрану, яка не пропускає молекули розчиненої речовини, називають *осмосом*.

У результаті осмосу рідкий розчинник проникає крізь напівпроникну мембрану, збільшуючи тиск рідини з того боку мембрани, де міститься розчинена речовина. Цей надлишковий тиск називають *осмотичним*.

Осмос має вагоме значення для всього живого: наприклад, коли ми п'ємо та їмо, вода та їжа засвоюються нашими клітинами завдяки цьому явищу. Пружність листя та плодів рослин також зумовлена осмотичним тиском.

Осмос широко використовують у домашньому господарстві — наприклад, під час засолювання овочів. У промисловості також використовують осмос — наприклад, для очищення води. На початку XXI століття в Норвегії побудували електростанцію, робота якої ґрунтується на осмосі: прісна вода перетікає з посудини з прісною водою в посудину з морською водою, яка відділена напівпроникною мембраною.

Атоми та молекули взаємодіють одні з одними

Чи могли б існувати рідини і тверді тіла, якби молекули не притягувалися одна до одної? Звичайно, ні: всі речовини розпалися б на окремі молекули, ставши газами. Отже, саме існування рідких і твердих тіл свідчить про притягання між молекулами.

Але чи є взаємодія між молекулами завжди лише притягуванням?

Щоб відповісти на це запитання, достатньо простих спостережень. Тверді тіла тому і називають твердими, що вони пручаються стисканню, тобто зменшенню об'єму. Спробуйте, наприклад, стиснути в кулаці шматок сталі або шматок дерева — навряд чи це вдасться (мал. 3.7).



Мал. 3.7

Це спостереження вказує на те, що молекули твердого тіла розміщені впритул, «упираючись» одна в одну під час стискання, тобто вони відштовхуються на малих відстанях.

Досліди показують, що, *по-перше*, обсяг рідини, на яку перетворюється тверде тіло при плавленні, зазвичай мало відрізняється від об'єму твердого тіла, *по-друге*, рідини практично не стискаються. А ось гази стискаються доволі легко: наприклад, не надто накачаний повітрям м'яч можна стиснути руками, зменшивши об'єм повітря в м'ячі.

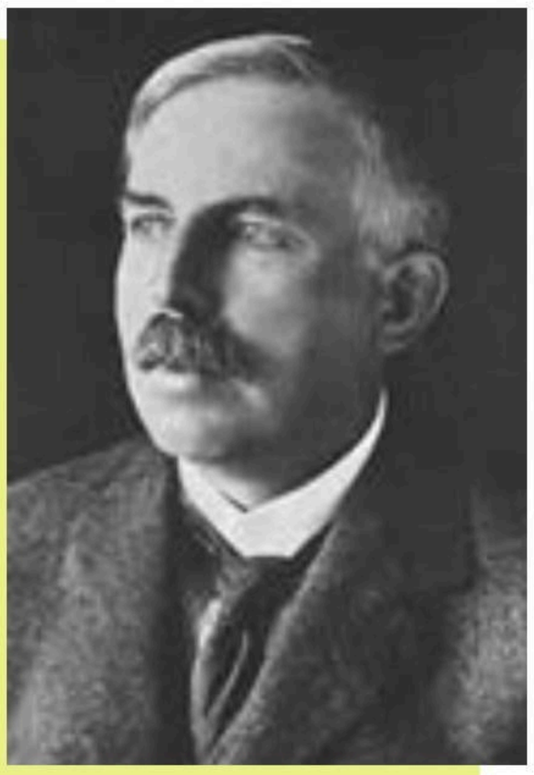
3.4. Яких висновків можна дійти із цих дослідів:
а) про взаємне розташування молекул у рідинах?
б) про взаємне розташування молекул у газах?[1]

[1] *Відповідь.* У рідинах, як і у твердих тілах, молекули розташовані впритул одна до одної, а в газах молекули перебувають на відстанях, що значно перевищують розміри молекул.

Далі ми ознайомимося з тим, як на практиці використовують нестисливість рідин.

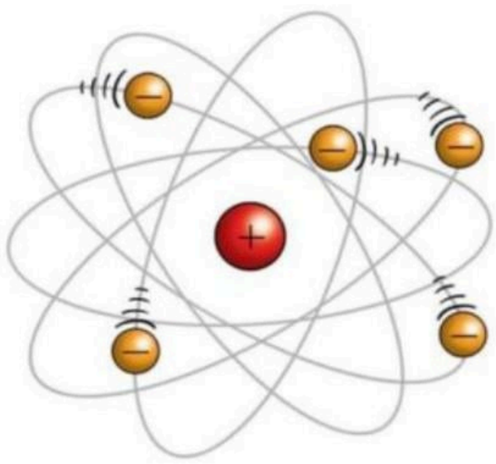
Отже, спостереження показують, що взаємодія молекул змінюється за зміни відстані між ними: на доволі значних відстанях молекули притягуються, а на дуже малих — відштовхуються.

3. Початкові відомості про будову атома



На початку XX століття англійський фізик Ернест Резерфорд (1871–1937), досліджуючи будову атома, поставив дослід, результати якого перевершили найсміливішу уяву.

Бомбардуючи атоми швидкими електрично зарядженими частинками і визначаючи, як відхиляються ці частинки в результаті зіткнень, учений з подивом виявив, що практично вся маса атома зосереджена в його ядрі, розміри якого в десятки тисяч разів менші за сам атом. Щоб усвідомити це, вдамося знову до порівняння. Оцініть, якого розміру набуло б атомне ядро, якщо збільшити атом до розмірів футбольного поля. Припустіть для оцінки, що довжина футбольного поля дорівнює 100 м і що атомне ядро приблизно в 20 000 разів менше від атома.[1]



Мал. 3.8

Ви можете запитати, чим тоді «заповнений» атом? Як відповідь на таке запитання часто наводять малюнок 3.8, на якому схематично показані негативно заряджені (позначені знаком «мінус») дуже легкі частинки — електрони, що розміщуються на орбітах навколо дуже малого, але масивного позитивно зарядженого ядра (позначено знаком «плюс») — подібно до того як планети обертаються навколо Сонця. Цей наочний малюнок ілюструє так звану планетарну модель атома, яку запропонував Резерфорд.

Подальші дослідження показали, що і таке уявлення про будову атома *дещо спрощене*.

---

[1] *Відповідь*. Близько 5 мм (розмір горошини).

По-перше, з'ясувалося, що властивості таких дрібних частинок, як електрони, настільки відрізняються від властивостей фізичних тіл, розміри яких можна порівняти з розмірами людини, що для опису руху електронів довелося створити новий розділ фізики — квантову фізику. Зокрема, для електрона принципово неможливо впевнено вказати, у якій точці простору він перебуває в даний момент часу, тому що електрон поєднує властивості як частинки, так і хвилі. Детальніше про це в курсі фізики старшої школи.

По-друге, виявилося, що ядро атома теж є складеним: воно складається з позитивно заряджених протонів та нейтральних нейтронів. До того ж у другій половині XX століття з'ясувалося, що протони і нейтрони теж не є «неподільними»: вони складаються з дивовижних частинок, названих кварками, які не можуть існувати у вільному стані.

Уже знайомому вам Демокріту належать слова: «У світі існують лише атоми та порожнеча». Видатний грек навіть не підозрював, наскільки він має рацію: навіть атоми, як з'ясувалося, в основному «наповнені порожнечею».

Але якщо ми подивимося довкола, то зрозуміємо, що слова Демокріта не можна розуміти буквально: адже подібно до цього можна сказати, що в мові є лише алфавіт. Але насправді з використанням цього алфавіту написані чудові книжки, зміст яких виходить далеко за межі алфавіту. Подібно до цього з атомів складаються найскладніші молекули, а з них — живі істоти, здатні любити і дружити, — як ми з вами. А любов і дружба — це не лише атоми і порожнеча. Отже, у світі є ще щось!

Лабораторна робота № 1



(Домашня). Дослідження явища дифузії в рідинах і газах

Мета: дослідити явище дифузії в рідинах і газах; установити, як залежить швидкість дифузії від температури.

Обладнання: термометр (не ртутний), йод, піпетка, склянка неповна з холодною водою з холодильника, склянка з такою самою кількістю теплої води (температура близько 50 °С), флакон з парфумами, шматок вати.

Перебіг роботи

1. Крапніть однакову кількість крапель йоду в склянки з холодною і теплою водою. Не розмішуйте після цього воду!

2. Поспостерігайте протягом години дифузію йоду в теплій і холодній воді. Запишіть, які відмінності у швидкості протікання дифузії ви помітили.

3. Поясніть відмінності у швидкості протікання дифузії. Запишіть стисле пояснення.

4. Перемішайте воду в обох склянках. Поясніть, чому швидкість дифузії при цьому значно зросла.

5. Попросіть кого-небудь з родичів капнути 1–2 краплі парфумів на вату, стоячи в кількох метрах від вас. Виміряйте проміжок часу, за який ви відчуєте запах. Поясніть це явище.

6. Зробіть висновки і запишіть їх.

Про що ми дізнались?

- Матерія складається з речовини та полів.
- Усі фізичні тіла складаються з речовини.
- Речовина може існувати у трьох станах — газоподібному, рідкому та твердому.
- Фізичні тіла взаємодіють одне з одним за допомогою полів — насамперед електромагнітного та гравітаційного.
- Речовина та поле можуть взаємно перетворюватися.
- Основні положення атомно-молекулярного вчення: 1) усі речовини складаються з найдрібніших частинок (атомів та молекул); 2) атоми та молекули перебувають у безперервному хаотичному русі; 3) атоми та молекули взаємодіють одні з одними.
- Дослідні підтвердження основних положень атомно-молекулярного вчення: броунівський рух, дифузія, існування та властивості твердих та рідких тіл.
- Атом складається з дуже малого позитивно зарядженого ядра, в якому зосереджена майже вся маса атома, та легких негативно заряджених електронів, що рухаються навколо ядра.

Домашній експеримент



3.5. Наповніть посудину водою і крапніть на поверхню води дуже маленьку краплю олії. Поспостерігайте за розтіканням олійної плями. Чому крапля не розтікається по всій поверхні води? Оцініть за допомогою цього досліду розмір молекули олії.

3.6. Покладіть на клейонку мокрий аркуш паперу. Спробуйте зрушити його горизонтально (тягніть обережно, щоб не порвати). Поясніть цей дослід.

Додаткові запитання та завдання



Початковий рівень

3.7. Чим речовина відрізняється від поля? Що вони мають спільного?

3.8. Наведіть приклади речовин, які за кімнатної температури є: газами; рідинами; твердими тілами.

3.9. Сформулюйте основні тези атомно-молекулярного вчення.

3.10. Які атоми найлегші?

Середній рівень

3.11. Які поля вам відомі? Наведіть приклади взаємодій за допомогою цих полів.

3.12. Які положення атомно-молекулярного вчення підтверджує броунівський рух? Обґрунтуйте.

3.13. Які положення атомно-молекулярного вчення підтверджує дифузія? Обґрунтуйте.

3.14. З яких атомів переважно складається Сонце?

Достатній рівень

3.15. Максимальна площа олійної плівки, що утворилася з краплі олії об'ємом $0{,}5$ мм^3, дорівнює $0{,}5$ м^2. Оцініть розмір молекули олії.

3.16. Як на досліді можна переконатися, що молекули: притягуються одна до одної; відштовхуються одна від одної?

3.17. Чим відрізняється вода від водню та кисню і що у них спільного?

§ 4. ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ ТА ЇХ ВИМІРЮВАННЯ

1. Фізичні величини.

2. Вимірювання фізичних величин.

1. Фізичні величини

Навіщо потрібно вимірювати властивості природи?

Вивчаючи довкілля, перші дослідники природи — учені стародавнього світу — шукали відповідь на питання «Чому?». Наприклад, Арістотель питав себе: «Чому падають тіла?» Однак знайти відповідь йому не вдалося. Успіхів у цьому досягнув Галілей, тому що він поставив питання по-іншому: «Як падають тіла?» Спочатку вчений дослідним шляхом установив, що тіла падають однаково, якщо знехтувати опором повітря. Потім звернув увагу на те, що швидкість тіл під час падіння збільшується.

Проведемо дослід



Випустіть кілька разів з різної висоти невелику кульку на долоню. Ви відчуєте: що більша висота, то удар відчутніший.

Продовжуючи шукати відповіді на питання «Як падають тіла?», Галілей здогадався загальмувати процес падіння: він почав скочувати кулі з похилої площини і ретельно вимірював довжину, кут нахилу похилої площини та час руху кулі.

Весь розвиток фізики, що почався з відкриття Галілея, показав, що в дослідженні будь-якого фізичного явища чи фізичного тіла вирішальну роль відіграють вимірювання.

Фізичні величини

Закони фізики виражаються у формі співвідношень між величинами, що характеризують фізичні тіла та явища. І щоб перевірити дослідним шляхом справедливість цих законів, потрібно навчитись вимірювати фізичні величини.

Приклади фізичних величин — довжина, час, швидкість, об'єм, температура, маса.

4.1. Якими відомими вам фізичними величинами характеризуються фізичні тіла? Наведіть приклади.

4.2. Якими відомими вам фізичними величинами характеризуються механічні явища? Наведіть приклади.

4.3. Якими відомими фізичними величинами характеризуються теплові явища? Наведіть приклади.

Міжнародна система одиниць фізичних величин

У середині XX століття вчені розробили міжнародну систему одиниць, яку скорочено називають СІ (System International unites).

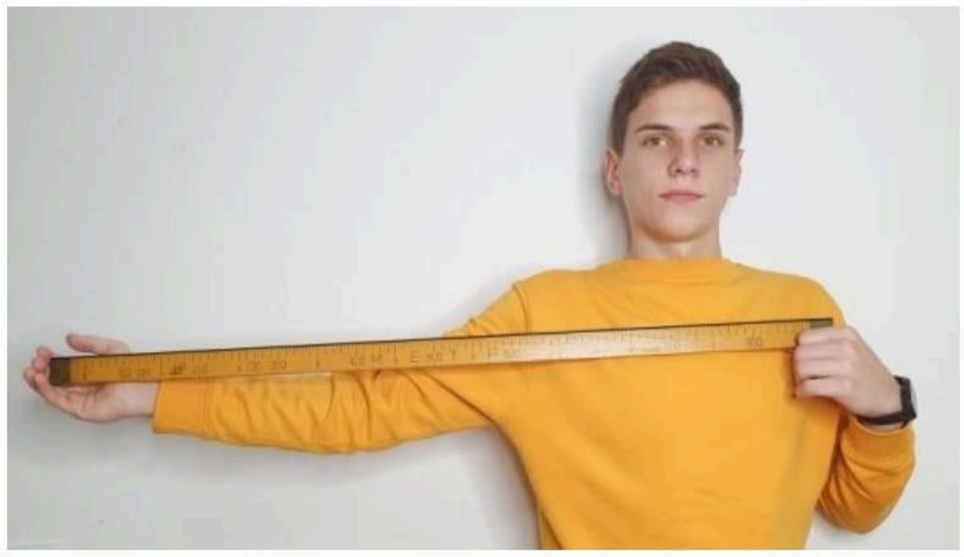
У цій системі одиницею довжини є метр (позначають «м»), а одиницею часу — секунда (позначають «с»).

Одиницею площі є квадратний метр (позначають «$м^2$»): площа квадрата зі стороною 1 м.

Одиницею об'єму є кубічний метр (позначають «$м^3$»): це об'єм куба з ребром 1 м.

З одиницями інших фізичних величин СІ ми ознайомимось згодом. А поки зверніть увагу: після позначень фізичних величин у СІ крапку не ставлять.

У XXI ст. прийняли нові визначення фізичних одиниць для того, щоб ці одиниці можна було точно відтворити. Нові визначення доволі складні, тому вони виходять за межі шкільного курсу.



Мал. 4.1

На практиці з метром та секундою ви добре знайомі. На малюнку 4.1 зображено, як можна приблизно відміряти 1 м. Одна секунда приблизно дорівнює проміжку між двома ударами серця.

Як бачимо, обираючи одиниці довжини та часу, вчені виходили з того, що «людина — міра всіх речей»: справді, один метр порівнюваний зі зростом людини, а секунда відповідає серцебиттю.

Широко використовують також кратні та частинні значення фізичних величин. Наприклад, 1 кілометр дорівнює 1000 м (1 км = 1000 м), а одна сота метра дорівнює 1 сантиметру (1 м = 100 см). Префікси для утворення кратних і частинних значень величин наводять у фізичних довідниках, а найуживаніші з них подано в таблиці.

Префікс	Множник	Позначення
Мікро	0,000 001	мк
Мілі	0,001	м
Санти	0,01	с
Деци	0,1	д
Кіло	1000	к
Мега	1 000 000	М

Зазначимо окремо, що під час вимірювання об'єму рідин використовують часто кубічний дециметр ($дм^3$) — такий об'єм рідини називають літр і позначають «л», і кубічний сантиметр ($см^3$) — такий об'єм рідини називають мілілітр (мл) (1000 мл = 1 л).

Якщо потрібно порівняти значення фізичних величин, наведені в різних одиницях, необхідно звести всі ці значення до однієї одиниці. Майте це на увазі під час розв'язування задач!

4.4. Скільки квадратних метрів в одному квадратному кілометрі?[1]

4.5. Скільки кубічних метрів в одному кубічному кілометрі?[2]

4.6. Довжина мідного стрижня дорівнює 2,4 м, довжина алюмінієвого — 167 см, а довжина сталевого — 3680 мм. Який стрижень найдовший; найкоротший?[3]

Для вимірювання часу, крім секунди, також використовують несистемні одиниці: хвилини (хв) та години (год).

4.7. Турист піднімався вгору 2 год 20 хв, після чого зробив привал на пів години. Сівши на траву, турист за 20 с випив флягу води.

а) Наведіть вказані в попередньому абзаці проміжки часу в СІ.

б) Знайдіть відношення цих проміжків часу.

4.8. Чого більше: секунд у годині чи метрів у кілометрі? У скільки разів більше?

2. Вимірювання фізичних величин

Коли ми кажемо, що довжина кімнати дорівнює 4 м, то це означає, що довжина кімнати в 4 рази більша за одиницю довжини — один метр.

---

1 *Відповідь*. 1 000 000.

2 *Відповідь*. 1 000 000 000.

3 *Порада*. Виразіть довжину всіх стрижнів у тих самих одиницях.

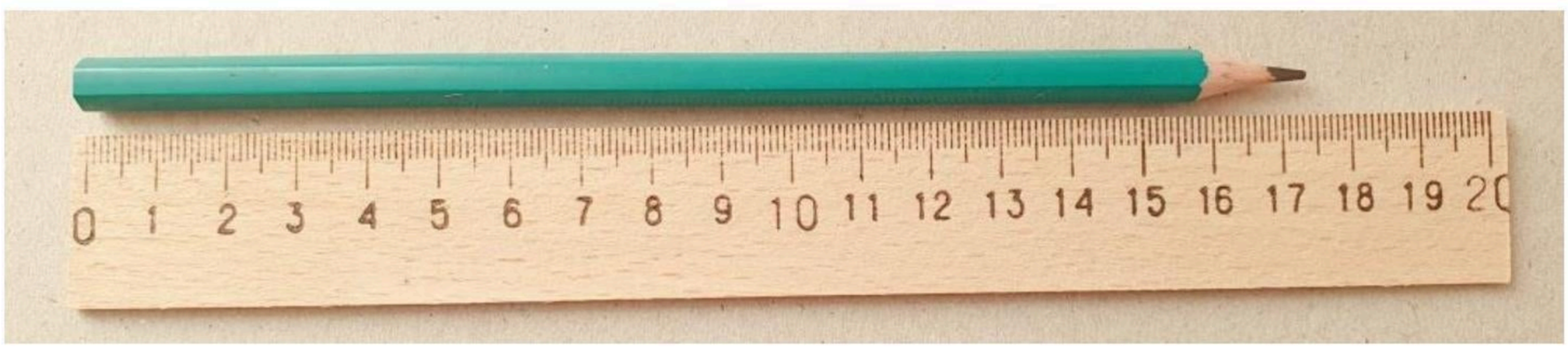
Цей приклад показує, що, вимірюючи якусь фізичну величину, ми насправді встановлюємо, у скільки разів вимірювана величина більша (або менша) від одиниці цієї величини. Тому, наводячи результат вимірювання фізичної величини, необхідно вказувати одиницю вимірювання.

Вимірювальні прилади

Фізичні величини вимірюють вимірювальними приладами.

Найпростіший вимірювальний прилад — добре знайома нам лінійка (мал. 4.2). Нанесені на неї поділки — приклад шкали вимірювального приладу.

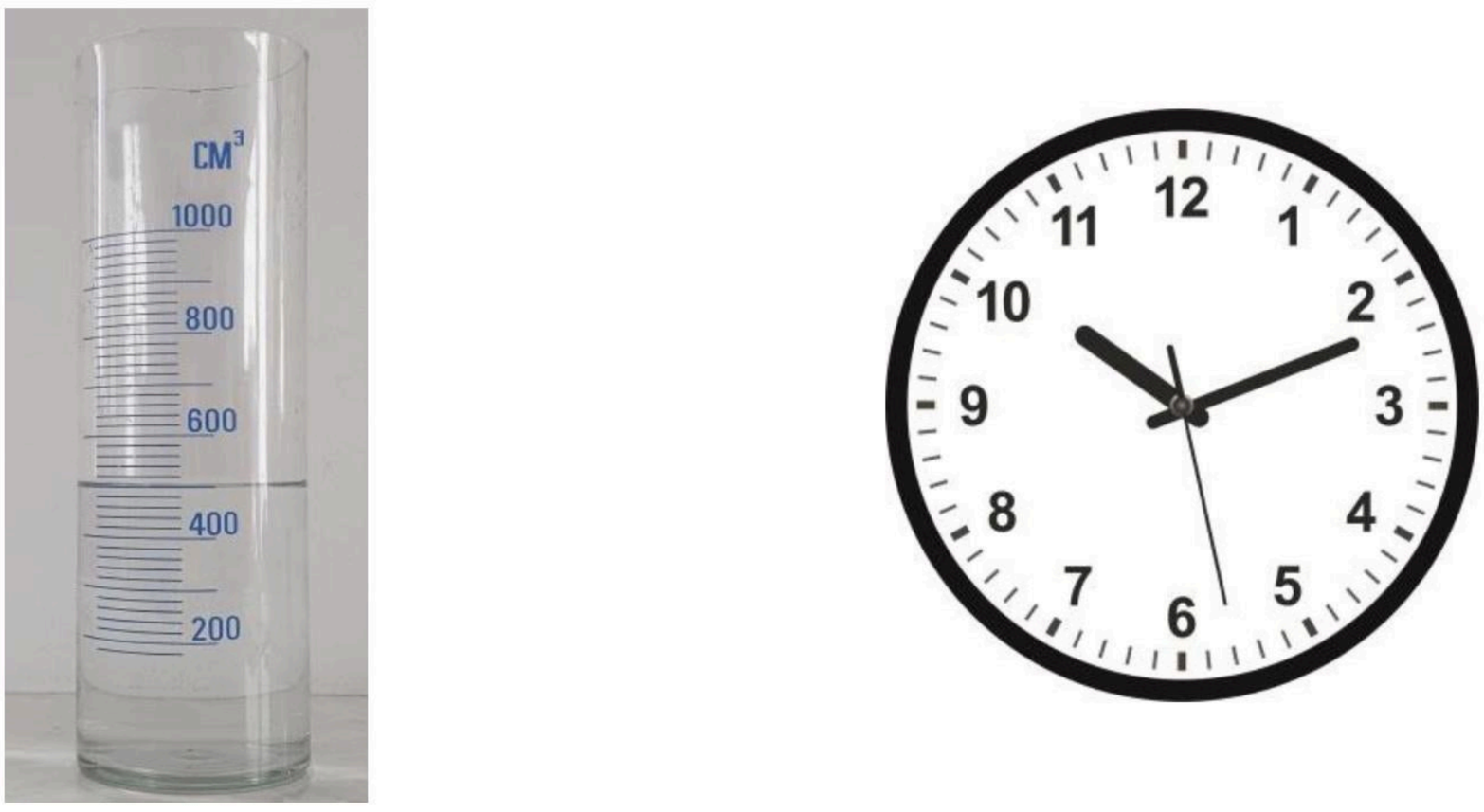
Чому дорівнює довжина олівця, зображеного на малюнку 4.2?



Мал. 4.2

Іншим прикладом вимірювального приладу є вимірювальний циліндр, за допомогою якого вимірюють об'єм рідини (рис. 4.3). На ньому також є шкала.

4.9. Чому дорівнює об'єм рідини у вимірювальному циліндрі, зображеному на малюнку 4.3?



Мал. 4.3

Годинник — вимірювальний прилад, яким вимірюють проміжки часу. Циферблат стрілочного годинника — також шкала вимірювального приладу.

4.10. Чому дорівнює час, який показує годинник, зображений на малюнку 4.3? Укажіть години, хвилини та секунди.

Ціною поділки приладу називають різницю значень фізичної величини, що відповідають сусіднім штрихам на шкалі приладу. Наприклад, ціна поділки лінійки на малюнку 4.2 дорівнює 1 мм.

4.11. Чому дорівнює ціна поділки вимірювального циліндра, зображеного на малюнку 4.3?[1]

4.12. Чому дорівнює ціна поділки годинника, зображеного на малюнку 4.3?[2]

Зазвичай вимірювальний прилад характеризується межами вимірювання: найбільшим і найменшим значеннями фізичних величин на шкалі приладу.

4.13. Якими є межі вимірювання лінійки, зображеної на малюнку 4.2?

4.14. Які межі вимірювання вимірювального циліндра, зображеного на малюнку 4.3?

Похибки вимірювань

Вимірювання багатьох фізичних величин, наприклад, довжини і часу, неможливо виконати абсолютно точно: результат вимірювання є наближеним, тобто має певну похибку.

Наприклад, лінійкою з ціною поділки 1 мм можна виміряти довжину олівця з точністю 1 мм. Для олівця, зображеного на малюнку 4.2, результат вимірювання потрібно записати так: $l = (175 \pm 1)$ мм.

Тут 1 мм — це абсолютна похибка вимірювання. Ми вважатимемо, що абсолютна похибка вимірювання дорівнює ціні поділки шкали вимірювального приладу.

---

[1] *Відповідь*. 20 см^3.

[2] *Відповідь*. 1 с.

Абсолютну похибку вимірювання позначають за допомогою великої грецької букви Δ («дельта»), яку записують перед позначенням вимірюваної величини, наприклад, при вимірюванні довжини l лінійкою з міліметровими поділками: $\Delta l = 1$ мм.



Мал. 4.4

Виміряємо тепер тією самою лінійкою, тобто з такою самою абсолютною похибкою товщину палітурки книжки (мал. 4.4) та запишемо результат: $d = (3 \pm 1)$ мм.

Чи можна вважати, що обидва вимірювання проведені з однаковою точністю?

Напевно, не можна, тому що під час вимірюванні довжини олівця абсолютна похибка становить близько однієї сотої вимірюваної величини, а при вимірюванні товщини палітурки абсолютна похибка становить третину вимірюваної величини. Тому правильно вважати, що довжина олівця виміряна з більшою точністю.

Кращою оцінкою точності вимірювання вважають відносну похибку вимірювання, яка дорівнює відношенню абсолютної похибки вимірювання до вимірюваної величини. Відносну похибку вимірювання позначають ε («епсилон») і часто виражають у відсотках.

Наприклад, відносна похибка вимірювання довжини олівця в розглянутому вище прикладі

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{1 \text{ мм}}{175 \text{ мм}} \cdot 100\ \% \approx 0{,}6\ \%.$$

Це можна записати так: $\varepsilon = 0{,}6\ \%$.

4.15. Знайдіть відносну похибку вимірювання товщини обкладинки книги у розглянутому вище прикладі.[1]

4.16. Чому дорівнюють абсолютна та відносна похибки вимірювання при вимірюванні об'єму рідини вимірювальним циліндром, зображеним на малюнку 4.3?[2]

---

[1] *Відповідь.* $\varepsilon = 0{,}3 = 30\%$.

[2] *Відповідь.* 20 см^3; 4%.

Лабораторна робота № 2

Ознайомлення з вимірювальними приладами. Визначення ціни поділки шкали

Мета: ознайомитися з найпростішими вимірювальними приладами, визначити ціну поділки, абсолютну похибку вимірювання та межі вимірювання приладу.

Обладнання: лінійка, вимірювальний циліндр, термометр.

Перебіг роботи

1. Ознайомтеся із запропонованими вимірювальними приладами (лінійкою, термометром та вимірювальним циліндром) та заповніть у зошиті для лабораторних робіт наведену таблицю:

	Лінійка	Вимірювальний циліндр	Термометр
1. Вимірювана фізична величина			
2. Одиниця величини			
3. Ціна поділки шкали			
4. Абсолютна похибка вимірювання			
5. Межі вимірювання приладу			

2. Зробіть висновки і запишіть їх.

Лабораторна робота № 3

Вимірювання об'єму твердих тіл, рідин та сипких матеріалів

Мета: виміряти об'єм твердих тіл правильної та неправильної форми, об'єм рідини та сипких матеріалів.

Обладнання: вимірювальна лінійка, вимірювальний циліндр, дерев'яний брусок, тверде тіло неправильної форми, прикріплене до нитки, пластикові стаканчики з водою та піском, паперова серветка.

Перебіг роботи

1. Виміряйте лінійкою розміри дерев'яного бруска та обчисліть його об'єм. Результат запишіть.

2. Пересипте пісок зі стаканчика до вимірювального циліндра, поставте циліндр на стіл і злегка постукайте пальцем по циліндру, щоб поверхня піску в циліндрі стала горизонтальною. Виміряйте об'єм піску $V_п$. Укажіть точність. Результат запишіть. Пересипте пісок назад у стаканчик.

3. Перелийте воду зі стаканчика до вимірювального циліндра та виміряйте об'єм води $V_в$. Укажіть точність. Результат запишіть.

4. Зануріть у вимірювальний циліндр з водою тіло неправильної форми, підвішене на нитці. Виміряйте сумарний об'єм $V_с$ тіла та води. Укажіть точність. Обчисліть об'єм тіла за формулою $V_т = V_с - V_в$. Результат запишіть.

5. Вийміть тіло неправильної форми з води, обітріть його серветкою. Перелийте воду з вимірювального циліндра у стаканчик.

6. Зробіть висновки і запишіть їх.

Лабораторна робота № 4

Вимірювання розмірів малих тіл

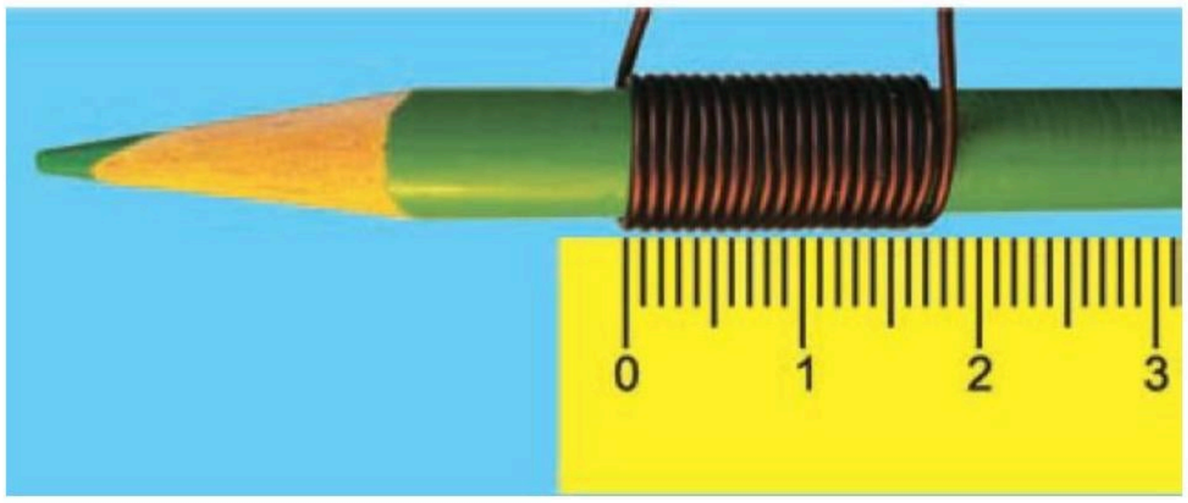
Мета: використовувати метод рядів для вимірювання розмірів малих тіл.

Обладнання: лінійка, мідний дріт, олівець, 20 горошин, книжка.

Пояснення. Під час вимірювання розмірів малих тіл можна виміряти спочатку загальний розмір кількох однакових малих тіл, розташованих впритул одне до одного, а потім поділити результат цього вимірювання на число тіл. Такий спосіб вимірювання розмірів називають методом рядів.

Перебіг роботи

1. Намотайте дріт на олівець чи ручку так, щоб витки прилягали один до одного (мал. 4.5). Проведіть вимірювання, необхідні для того, щоб знайти діаметр дроту. Дані вимірювань та розрахунок запишіть.



Мал. 4.5

2. Покладіть лінійку на стіл і викладіть усі горошини вздовж лінійки впритул одна до одної. Проведіть вимірювання, необхідні для того, щоб знайти середній діаметр горошини. Дані вимірювань та розрахунок запишіть.

3. Виміряйте товщину 100 аркушів книжки (скористайтеся номерами сторінок, ураховуючи, що на кожному аркуші дві сторінки). Знайдіть товщину паперу, на якому надруковано книжку. Дані вимірювань та обчислення запишіть.

Про що ми дізнались?

- Фізичні величини характеризують фізичні тіла та фізичні явища. Приклади фізичних величин: довжина, час, температура.
- Виміряти фізичну величину — це порівняти її з одиницею даної величини. Результат вимірювання фізичної величини наводять із зазначенням одиниці.
- Одиниця довжини в СІ — метр (м).
- Одиниця часу в СІ — секунда (с).
- Фізичні величини вимірюють за допомогою вимірювальних приладів.
- Ціна поділки вимірювального приладу — різниця значень фізичної величини, які відповідають сусіднім штрихам на шкалі приладу.
- Вимірювання є наближеними. Абсолютну похибку вимірювання під час проведення лабораторних робіт приймають рівною ціні поділки шкали вимірювального приладу.

Домашній експеримент

4.17. Використовуючи мірний кухоль, виміряйте об’єм однієї столової ложки. Для збільшення точності в мірний кухоль налийте 10–20 столових ложок води.

4.18. Використовуючи воду та мірний кухоль, знайдіть, яка частина об’єму в склянці, заповненій піском, зайнята власне піщинками, а яка — повітрям.

Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

4.19. Наведіть приклади відомих фізичних величин.

4.20. Які одиниці довжини та часу в СІ?

4.21. Наведіть приклади шкал вимірювальних приладів.

4.22. Як визначають ціну поділки приладу? Наведіть приклади ціни поділки різних приладів.

4.23. Як визначають абсолютну похибку вимірювання під час проведення лабораторних робіт?

Достатній рівень

4.24. Наведіть 2–3 приклади числових значень кількох фізичних величин, використовуючи різні одиниці цих величин.

4.25. Що таке абсолютна та відносна похибки вимірювання?

4.26. Які вам відомі одиниці довжини та часу, окрім одиниць СІ?

Високий рівень

4.27. Поясніть, чому вимірювання довжини за допомогою лінійки з міліметровими поділками буде більш точним, ніж вимірювання тієї самої довжини за допомогою вимірювальної стрічки, на якій нанесені лише сантиметрові поділки.

РОЗДІЛ ІІ. МЕХАНІЧНИЙ РУХ ТА ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

§ 5. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНІЧНОГО РУХУ

§ 6. ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РІВНОМІРНИЙ РУХ

§ 7. ПРЯМОЛІНІЙНИЙ НЕРІВНОМІРНИЙ РУХ

§ 5. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНІЧНОГО РУХУ

1. Відносність руху. Система відліку.
2. Матеріальна точка.
3. Траєкторія, шлях, переміщення.

1. Відносність руху. Система відліку

Відносність руху

Чи може те саме фізичне тіло рухатися і перебувати в спокої *одночасно*? Багато хто скаже: «Звичайно, не може». Але розгляньмо такий приклад.

Троє пасажирів перебувають в одному купе потяга, що рухається (мал. 5.1). Ці пасажири теж рухаються, чи *вони перебувають у стані спокою*?



Мал. 5.1

Кожен із пасажирів чи пасажирок скаже, що його сусід / сусідка по купе *перебуває в стані спокою*.

А людина, повз яку рухається поїзд з цими пасажирами, скаже, що вони *рухаються* разом із потягом.

І всі вони матимуть рацію, адже пасажири-сусіди перебувають у стані спокою *відносно один одного*, але при цьому рухаються відносно *людей, дерев, повз які проїжджає потяг*.

На цьому прикладі ми бачимо, що *рух і спокій відносні*: дане тіло може *рухатися* відносно одного тіла і *перебувати в спокої* відносно іншого тіла. Тому

механічний рух — це зміна з часом положення тіла або частин тіла в просторі *відносно* інших тіл.

5.1. Уважно подивіться на малюнок 5.1. Які тіла на цьому малюнку рухаються відносно будь-кого з пасажирів? Які тіла перебувають у стані спокою?

5.2. Наведіть кілька прикладів тіл, які зараз відносно вас: рухаються; перебувають у стані спокою.

5.3. Чи може будинок рухатися: угору; униз?[1]

5.4. Відносно яких тіл, зображених на фото 5.2, журавель на чолі клину: рухається; перебуває в спокої?



Мал. 5.2

Тіло відліку. Система відліку

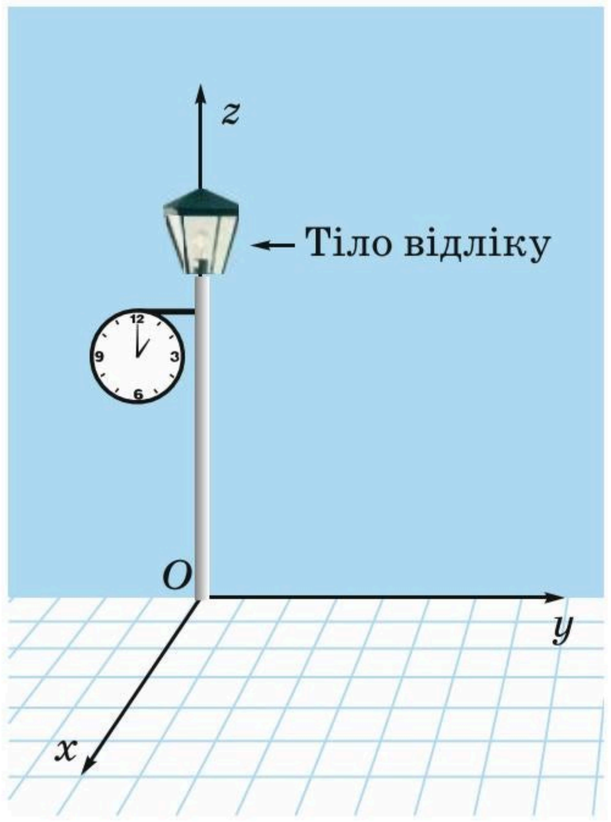
Відносно якого тіла зазвичай розглядають рух автомобіля? Зазвичай відносно Землі. Однак нас також може зацікавити рух одного автомобіля відносно іншого.

Тіло, відносно якого розглядають положення рухомого тіла, називають *тілом відліку*.

Яке тіло вважають тілом відліку, коли кажуть: «Провідник іде по вагону»?

Але чи достатньо вказати *тільки* тіло відліку, щоб повністю описати рух даного тіла? Ні, адже також необхідно знати, звідки і в якому напрямку рухається дане тіло, а також коли воно почало рухатися і в які моменти часу перебувало в тій чи іншій точці простору.

Для цього вводять *систему координат* і годинник, пов'язані з тілом відліку (рис. 5.3).



Мал. 5.3

[1] *Порада.* Уявіть себе пасажиром ліфта.

Тіло відліку, система координат, пов'язана з ним, і годинник утворюють разом *систему відліку*.

Під час розгляду руху тіла по прямій зручно спрямувати *вісь абсцис* уздовж цієї прямої.

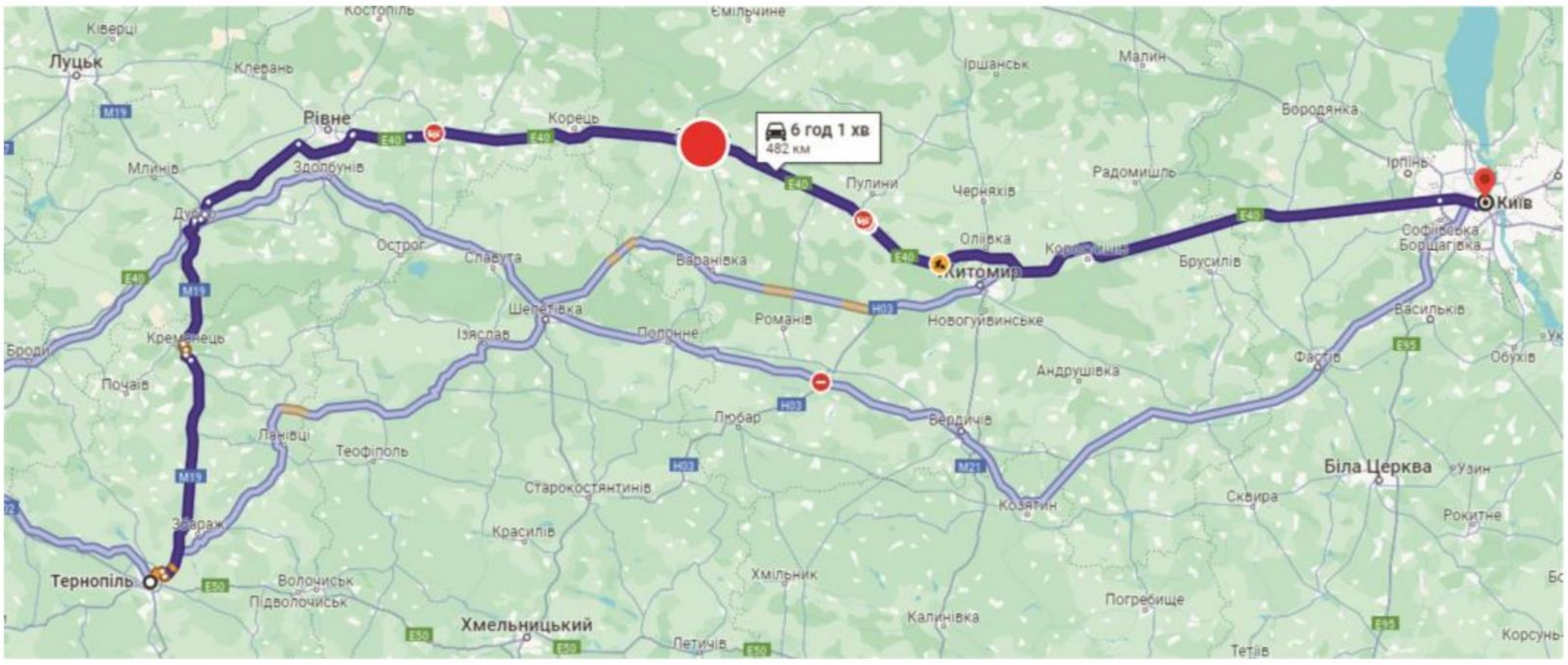
Вдалий вибір системи відліку може спростити опис руху тіл, що допоможе виявити *загальні закономірності* руху тіл. Ось, мабуть, найяскравіший приклад.

Протягом тисячоліть рух планет Сонячної системи розглядали в системі відліку, пов'язаній із *Землею*. Рухи усіх планет здавалися складними і заплутаними: у цій системі важко було побачити *закономірності*. Але в XVI столітті польський астроном Миколай Коперник виявив, що в системі відліку, пов'язаній із *Сонцем*, *усі* планети, і Земля також, рухаються навколо Сонця майже коловими орбітами. Ця загальна *закономірність* допомогла англійському вченому Ісааку Ньютону відкрити закони руху тіл, які справедливі для руху всіх тіл.

2. Матеріальна точка

Чи враховуватимете ви розміри автомобіля, якщо вам потрібно знайти час його руху з одного міста в інше?

Звичайно, ні: адже габарити машини в багато разів менші від відстані між містами. Тому положення автомобіля на дорозі в даний час *позначено точкою* (рис. 5.4).



Мал. 5.4

А чи можна знехтувати розмірами того самого автомобіля, розраховуючи, як маневрувати, в'їжджаючи в гараж? Ні, не можна: адже розміри машини не надто відрізняються від розмірів гаража.

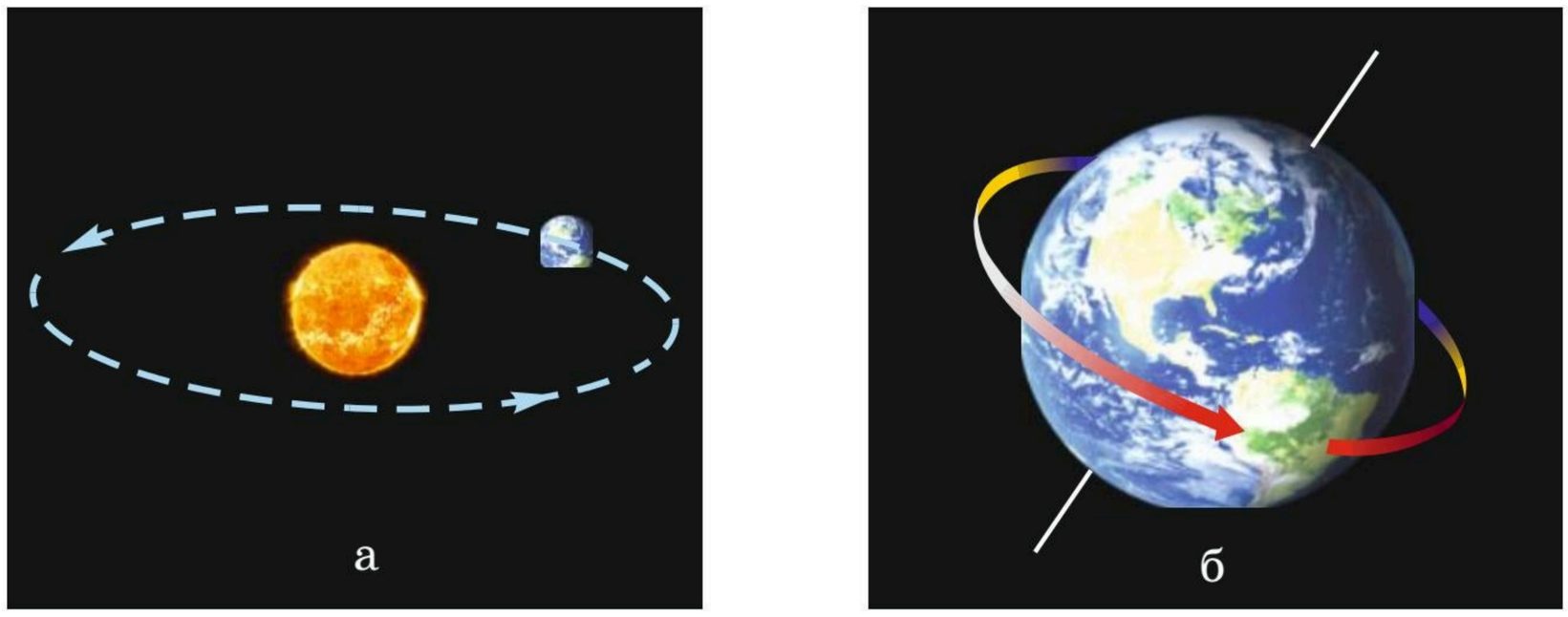
Отже, чи можна розглядати тіло як матеріальну точку, чи ні, залежить не від розмірів тіла, а від *задачі, яку розв'язують*.

5.5. Коли Землю можна розглядати як матеріальну точку:

а) вивчаючи рух Землі навколо Сонця (рисунок 5.5 а);

б) вивчаючи добове обертання Землі (рис. 5.5 б).

Обґрунтуйте свої відповіді. Знайдіть необхідні дані самостійно (не забувайте про інтернет).



Мал. 5.5

5.6. У яких завданнях літак можна розглядати як матеріальну точку:

а) розрахунок «мертвої петлі» (фігура вищого пілотажу) (рис. 5.6 а);

б) знаходження часу перельоту з одного міста в інше (рис. 5.6 б)?



Мал. 5.6, а

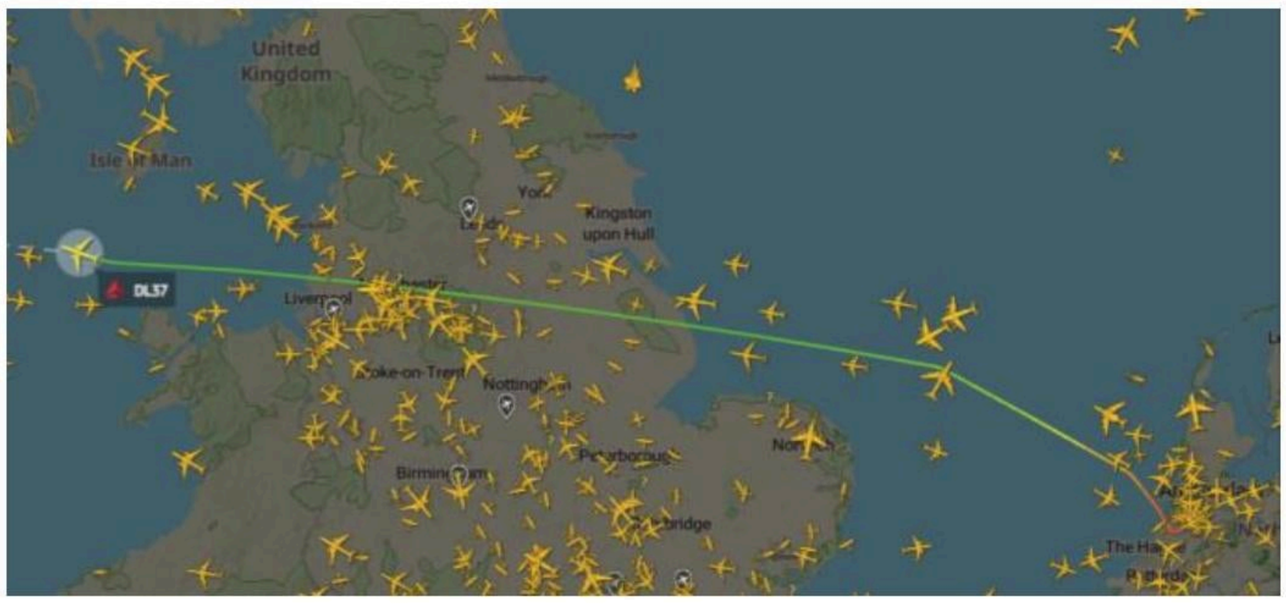


Рис. 5,6, б

Чи бувають випадки, коли тіло можна розглядати як матеріальну точку, хоча його розміри *можна порівняти з* відстанями, на які рухається це тіло?

Відповідь на це запитання підказує малюнок 5.7. На ньому зображено рух тіла, за якого *всі його точки рухаються однаково*.

Такий рух *тіла називають поступальним*. Його визначають рухом тільки *однієї* (будь-якої) з його точок, тому *за поступального руху тіла його можна розглядати як матеріальну точку*.



Мал. 5.7

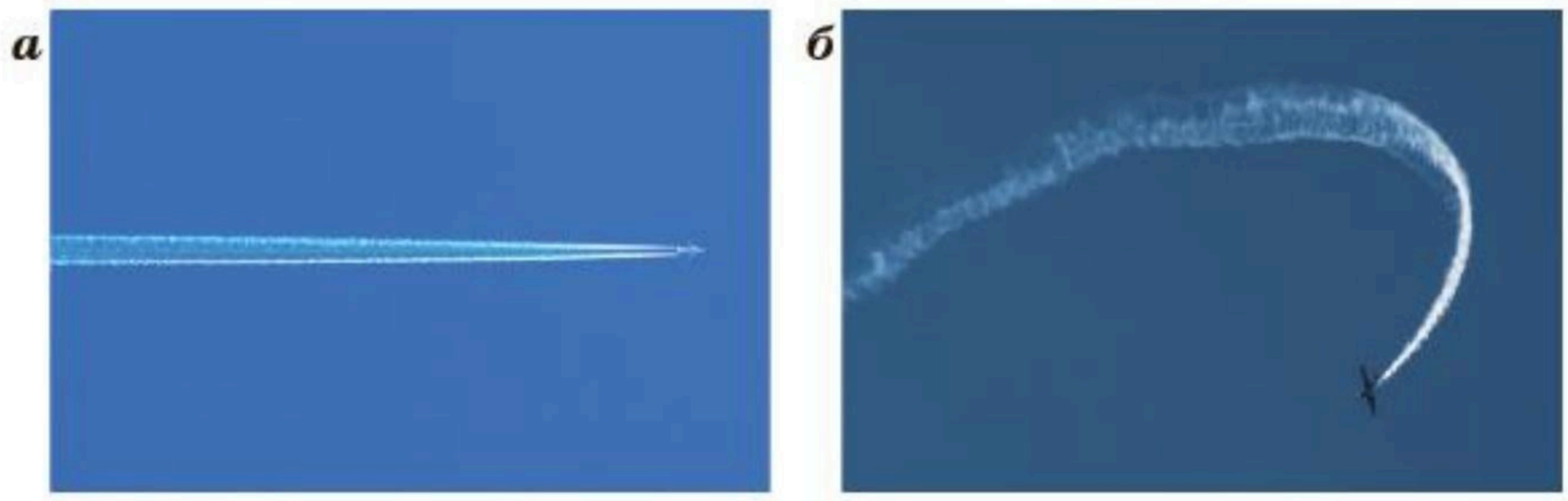
5.7. Наведіть свій приклад поступального руху тіла.

У цьому навчальному році ми найчастіше (але не завжди!) розглядатимемо завдання, у яких тіло можна вважати матеріальною точкою.

3. Траєкторія, шлях, переміщення

Траєкторія

Ви, напевно, бачили лінії, які «малюють у небі» літаки, що високо літають (мал. 5.8). Ці лінії є *траєкторіями* руху літаків.



Мал. 5.8

Траєкторія тіла — це лінія, яку під час руху описує тіло, яке можна вважати матеріальною точкою.

У наведених прикладах видно траєкторії літаків, але значно частіше траєкторії тіл непомітні. Зокрема, у небі не залишають слідів птахи, а на сухому асфальті — автомобілі.

5.8. Наведіть свої приклади видимих і невидимих траєкторій тіл.

Траєкторія руху може бути *прямолінійною* (мал. 5.8 а) і *криволінійною* (мал. 5.8 б).

5.9. Наведіть свої приклади прямолінійних і криволінійних траєкторій.

5.10. Хвилинною стрілкою настінного годинника від осі стрілки до її вільного кінця впродовж години лізе жук сонечко. Схематично зобразіть вид траєкторії руху сонечка в системі відліку, пов'язаній:

а) зі стрілкою, по якій лізе сонечко;

б) із циферблатом годинника.[1]

На цьому прикладі ми бачимо, що *вигляд траєкторії руху тіла (прямолінійна чи криволінійна) залежить від вибору системи відліку*.

Зі ще однією характеристикою траєкторії руху тіла ми ознайомимося на такому прикладі.

5.11. Сергій вийшов з дому до школи о 8-й годині ранку. Після уроків пішов на заняття спортивної секції, потім зайшов до друга і повернувся додому о 18-й годині. Зобразіть схематично приблизний вигляд траєкторії Сергія в системі відліку, пов'язаній із Землею. Розташування на схемі будинку Сергія, школи, спортивної секції і будинку Сергієвого друга виберіть самі.

Якщо ви правильно виконали цю роботу, траєкторія Сергія — це *замкнута* лінія, адже кінцеве положення Сергія збігається з його початковим положенням. Таку траєкторію називають *замкнутою*.

Чи буде траєкторія Сергія замкнута в *будь-якій* системі відліку?

Ні, звичайно: наприклад, у системі відліку, пов'язаної із Сонцем, Сергій не повертався до вихідної точки ввечері, оскільки Земля разом із Сергієм, рухаючись своєю орбітою, за кожну секунду пролітала близько 30 км.

5.12. Відстань між початковим і кінцевим положенням Сергія в системі відліку, пов'язаній із Сонцем, можна вважати такою, що приблизно дорівнює відстані, яку Земля пройшла своєю орбітою за той час, коли Сергія не було вдома. Оцініть цю відстань.[2]

5.13. Наведіть два приклади часових проміжків, для яких траєкторія руху вільного кінця хвилинної стрілки годинника в системі відліку, зв'язаній з циферблатом годинника, є:

---

[1] *Відповідь.* а) Траєкторія руху — відрізок. б) Траєкторія руху — спіраль.

[2] *Відповідь.* Більше мільйона кілометрів.

а) замкнутою;
б) незамкнутою.[1]

Отже, чи є траєкторія тіла замкнутою чи незамкнутою, також *залежить від вибору системи відліку*.

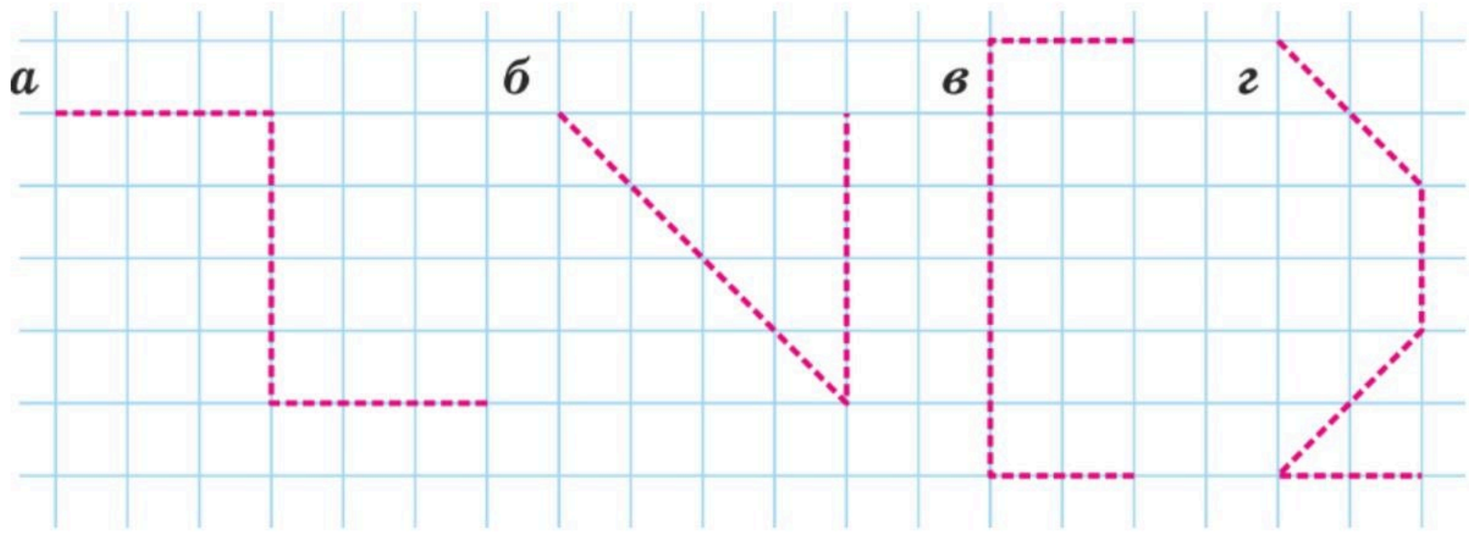
5.14. Чи може траєкторія якоїсь матеріальної точки перетнутися сама з собою? Проілюструйте свою відповідь малюнком.[2] [3]

Шлях

Довжину траєкторії руху тіла називають *шляхом*, який подолало тіло.

Шлях часто позначають l. Шлях вимірюють в одиницях довжини.

5.15. На малюнку 5.9 зображені траєкторії кількох матеріальних точок. На яких рисунках пройдені шляхи рівні?



Мал. 5.9

5.16. За певний проміжок часу поїзд проїхав 100 м вздовж платформи станції. Чому дорівнює шлях, пройдений за цей проміжок часу одним з пасажирів, у системі відліку, пов'язаній:
а) зі станцією;
б) із сусідом/сусідкою цього пасажира, що сидить поруч з ним?[4]

Цей приклад показує, що *шлях, який подолало тіло, залежить від вибору системи відліку*.

5.17. Наведіть свій приклад, як шлях, пройдений тілом, залежить від вибору системи відліку.

5.18. У якому випадку пройдений тілом шлях дорівнює нулю?[1]

---

1 *Відповідь.* а) Будь-яка ціла кількість годин. б) Будь-яка нецілa кількість годин.
2 *Порада.* Розглянемо, наприклад, траєкторію руху футболіста під час матчу.
3 *Відповідь.* Може.
4 *Відповідь.* а) 100 м. б) 0 м.

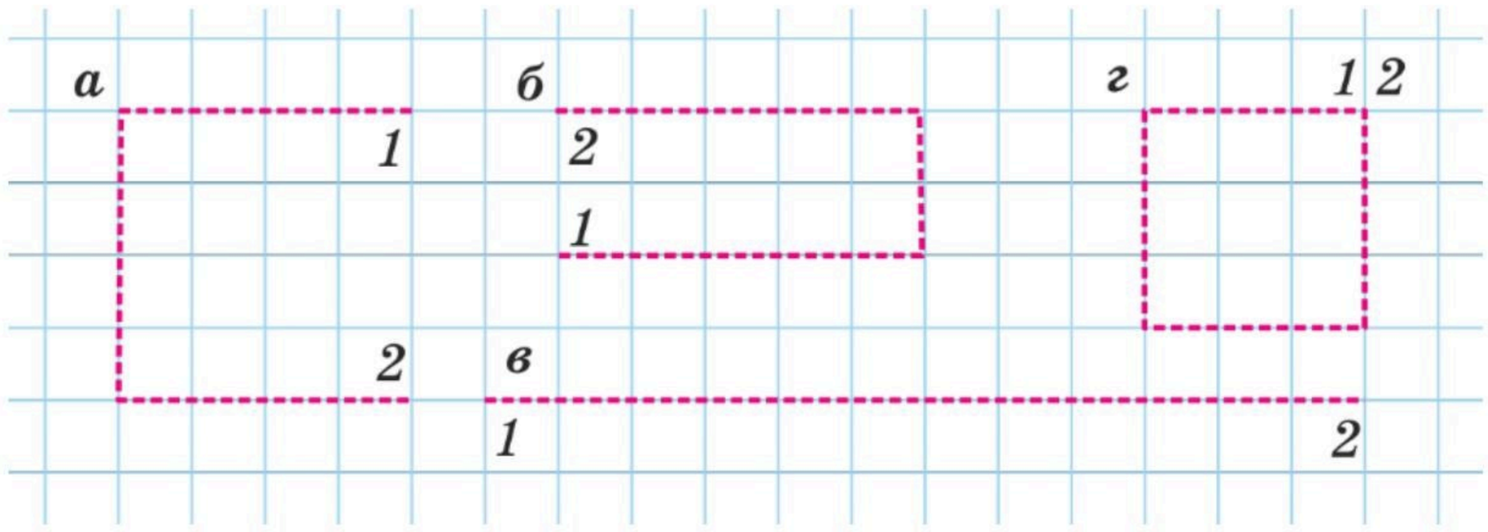
Якщо за даний проміжок часу тіло проходить певну ділянку траєкторії *кілька разів*, то пройдений тілом шлях дорівнює довжині цієї ділянки, помноженій на кількість проходів ділянки.

Наприклад, якщо Оксана пробігла 2 рази по всій коловій доріжці завдовжки 200 м, то пройдений нею шлях становить 400 м.

5.19. Обмірковуючи задачу з фізики, Сашко ходив алеєю парку завдовжки 200 м від одного кінця до другого і назад. Він здогадався, як розв'язати задачу, коли пройшов алеєю 1 км. Скільки часу знадобилося Сашкові, щоб знайти розв'язок, якщо він проходив відстань від одного кінця алеї до другого за 3 хвилини?[2]

Переміщення

Порівняймо траєкторії руху матеріальних точок, що зображені на малюнках 5.10 (цифри *1* і *2* вказують на початкове і кінцеве положення цих матеріальних точок).



Мал. 5.10

Шляхи, пройдені кожною з цих матеріальних точок, рівні, але відстані, на які *перемістилися* точки, різні.

5.20. На яку відстань перемістилася матеріальна точка на кожному з малюнків 5.10?

Напрямлений відрізок, що з'єднує початкове і кінцеве положення матеріальної точки, називають *переміщенням*.

На малюнку 5.11 показано траєкторію руху матеріальної точки та її переміщення під час руху з точки A в точку B.

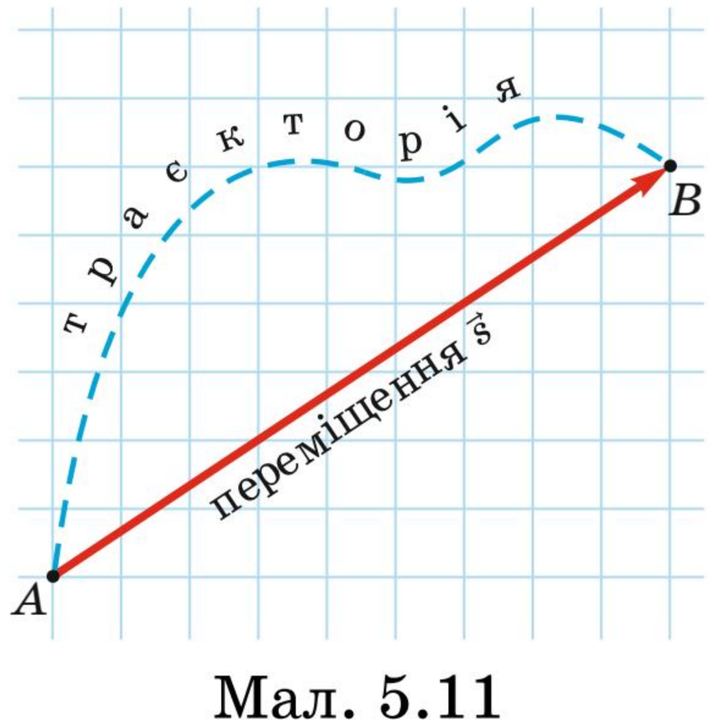
---

1 *Відповідь.* Якщо тіло в цій системі відліку перебуває в стані спокою.

2 *Відповідь.* 15 хв.

Ми бачимо, що переміщення *характеризується числовим значенням* (у даному випадку довжиною) і *напрямком*. Такі величини називають *векторними величинами*, а числове значення векторної величини називають її *модулем*.

Векторні величини позначають буквою зі стрілкою над нею. Наприклад, переміщення зазвичай позначають $\vec{s}$.



Мал. 5.11

Згодом ми ознайомимося з іншими векторними величинами.

5.21. На малюнках 5.10 зображено траєкторії чотирьох матеріальних точок.

а) Чому дорівнює модуль переміщення матеріальної точки на кожному з рисунків?

б) Перенесіть креслення до зошита і позначте на кожному з них вектор переміщення матеріальної точки.[1]

5.22. Модуль переміщення якоїсь матеріальної точки дорівнює нулю.

а) Чи обов'язково шлях, пройдений цією точкою, дорівнює нулю?

б) Чи може шлях, пройдений цією точкою, дорівнювати нулю?[2] [3]

Оскільки вид траєкторії руху тіла залежить від вибору системи відліку, то й переміщення тіла залежить від вибору системи відліку.

5.23. За якого руху модуль переміщення матеріальної точки дорівнює пройденому шляху?[4]

5.24. Матеріальна точка рухається вздовж прямої. Чи обов'язково її модуль переміщення дорівнює пройденому шляху?[5] [6]

---

[1] *Відповідь*. а) 2 см; 1 см; 6 см; 0 см.

[2] *Порада*. Якщо модуль переміщення матеріальної точки дорівнює нулю, це означає лише те, що її кінцеве положення збігається з початковим.

[3] *Відповідь*. а) Ні. б) Так.

[4] *Відповідь*. За руху вздовж прямої в одному напрямку.

[5] *Порада*. За руху вздовж прямої тіло може змінювати напрямок руху на протилежний.

[6] *Відповідь*. Ні. Наприклад, якщо тіло вийшло з початкової точки і через певний проміжок часу повернулося до неї, модуль його переміщення за цей проміжок часу дорівнює нулю, але пройдений шлях не дорівнює нулю.

5.25. Мураха послідовно лазить по сторонах квадрата $ABCD$ ($AB = 6$ см), починаючи з вершини A. Одну сторону квадрата мураха долає за 4 с.

а) Зобразіть у зошиті траєкторію руху мурахи.

б) Зобразіть переміщення мурахи за: 4 с; 12 с; 16 с.

в) Знайдіть шлях і модуль переміщення мурахи за: 4 с; 12 с; 16 с.

Про що ми дізнались?

- *Механічний рух — це* зміна з плином часу положення тіла в просторі *відносно* інших тіл.
- Тіло, відносно якого розглядають рух інших тіл у даній ситуації, називають *тілом відліку*.
- Тіло відліку, пов'язана з ним система координат і годинник утворюють *систему відліку*.
- Фізичну модель тіла, розмірами якого можна знехтувати *в даній задачі*, називають *матеріальною точкою*.
- *Траєкторією* руху тіла називають лінію, яку описує під час руху тіло, яке можна вважати матеріальною точкою.
- Довжину траєкторії руху тіла називають *шляхом*.
- Напрямлений відрізок, що з'єднує початкове і кінцеве положення матеріальної точки, називають *переміщенням*.

Домашній експеримент

5.26. Покладіть м'який олівець вістрям на аркуш паперу на столі. Тримаючи олівець нерухомо щодо столу, перемістіть аркуш паперу так, щоб олівець намалював на папері яку-небудь просту фігуру. Відносно якого тіла ця фігура є траєкторією кінця олівця?

Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

5.27. Юрко дивиться з вікна вагона на потяг, що стоїть на сусідній колії. У якийсь момент цей потяг починає повільно рухатися повз вікно, у яке дивиться хлопець. Який висновок може зробити Юрко?

5.28. Накресліть у зошиті траєкторії руху двох матеріальних точок, якщо відомо, що перша матеріальна точка пройшла шлях удвічі більший, ніж друга. Скористайтеся клітинками зошита.

5.29. Два міста, відстань між якими становить 300 км, з'єднані прямою дорогою. Два автомобілі виїхали з цих міст назустріч один одному. До зустрічі один з них пройшов шлях, що дорівнює 100 км. Який шлях подолав до зустрічі другий автомобіль?

Достатній рівень

5.30. Накресліть у зошиті приклади траєкторій матеріальних точок, для яких відношення пройденого шляху до модуля переміщення дорівнює: 2; 3; 4; 5.[1]

5.31. Накресліть у зошиті *різні* траєкторії руху двох матеріальних точок, якщо відомо, що переміщення цих матеріальних точок однакові.

5.32. Дивлячись у вікно вагона, Михайлик помітив, що числа на кілометрових стовпах збільшилися із 220 до 350.

а) Який шлях пройшов потяг?

б) Чи можна знайти модуль переміщення потяга, використовуючи ці дані? Якщо ні, то як має бути доповнена умова?

Високий рівень

5.33. Два тіла рухаються так, що шляхи, які вони проходять за той самий *проміжок часу*, *різні*. Чи можуть ці тіла *бути у стані спокою відносно* одне одного? Проілюструйте свою відповідь на прикладі.[2]

5.34. Юрко випустив м'яч з висоти 1,5 м над підлогою. М'яч упав і відскочив, після чого хлопець спіймав м'яч, що рухався вгору, на висоті 1 м.

а) Який шлях пролетів м'яч рухаючись униз; рухаючись угору; за весь час руху?

б) Який модуль переміщення м'яча під час його руху униз; угору; за весь час руху?

5.35. Два міста, відстань між якими становить 300 км, з'єднані прямою дорогою. Два автомобілі виїхали з цих міст назустріч один одному. Коли перший автомобіль проїхав 150 км, відстань між автомобілями дорівнювала 50 км. Який шлях подолав другий автомобіль до цього моменту?[3]

---

[1] *Порада.* Скористайтеся клітинками зошита.

[2] *Порада.* Розгляньте, наприклад, дві шайби лежать на горизонтальному крузі, що обертається навколо вертикальної осі, що проходить через центр круга. Порівняйте шляхи, пройдені шайбами під час одного оберту диска, за умови, що шайби розміщені на різній відстані від осі обертання.

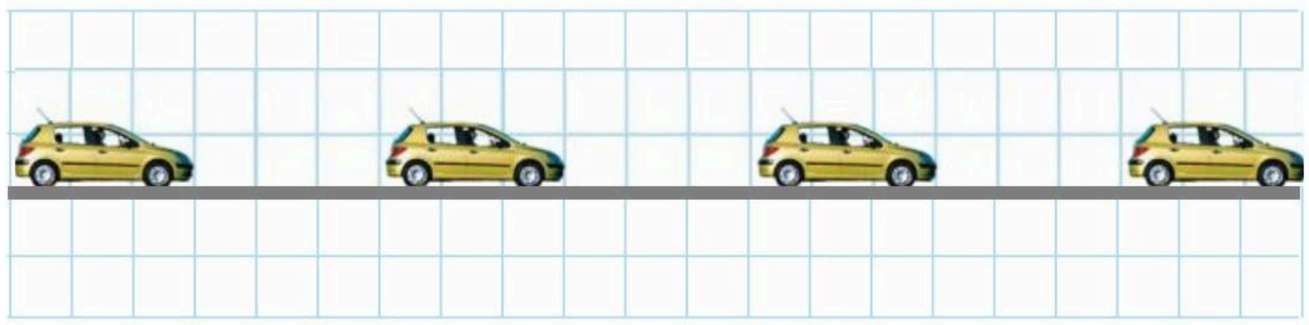
[3] *Порада.* До цього завдання є 2 відповіді.

§ 6. ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РІВНОМІРНИЙ РУХ

1. Що таке прямолінійний рівномірний рух?
2. Швидкість прямолінійного рівномірного руху.
3. Графіки прямолінійного рівномірного руху.
4. Як оформлювати розв'язання задачі?

1. Що таке прямолінійний рівномірний рух?

На малюнку 6.1 показані послідовні положення автомобіля, що їде по прямій дорозі через рівні проміжки часу (через 1 с). Ми бачимо, що автомобіль за *рівні проміжки* часу проходить *рівні шляхи*.



Мал. 6.1

Прямолінійний рух, *під час* якого тіло проходить рівні шляхи за будь-які рівні проміжки часу, називають *прямолінійним рівномірним рухом*.

6.1. Доведіть: якщо тіло рухається по прямій і рівномірно, то його переміщення за будь-які рівні проміжки часу рівні.[1]

6.2. Велосипедист їде прямолінійно і рівномірно. За 10 хв подолано 2 км. Який шлях велосипедист здолає за: 5 хв; 12 хв; 1 год 20 хв?[2]

6.3. Автомобіль їде по прямій дорозі. За першу годину він подолав 60 км, а за наступні пів години — 40 км. Чи міг цей автомобіль рухатися прямолінійно і рівномірно?[3] [4]

---

[1] *Порада.* Нарисуйте і порівняйте переміщення тіла, що рухається прямолінійно рівномірно протягом двох послідовних рівних періодів часу.

[2] *Відповідь.* 1 км; 2,4 км;16 км.

[3] *Порада.* Якби цей автомобіль рухався прямолінійно і рівномірно, то він проходив би *рівні шляхи за кожні* пів години.

[4] *Відповідь.* Не міг.

2. Швидкість прямолінійного рівномірного руху

Швидкістю прямолінійного рівномірного руху називають відношення переміщення тіла $\vec{s}$ до проміжку часу t, протягом якого відбулося це переміщення:

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}.$$

Звідси випливає, що *швидкість — це векторна величина*. Її напрямок збігається з напрямком переміщення, а модуль швидкості $v = \frac{s}{t}$. Оскільки за прямолінійного руху в одному напрямку модуль переміщення дорівнює пройденому шляху, тобто $s = l$, отримаємо, що

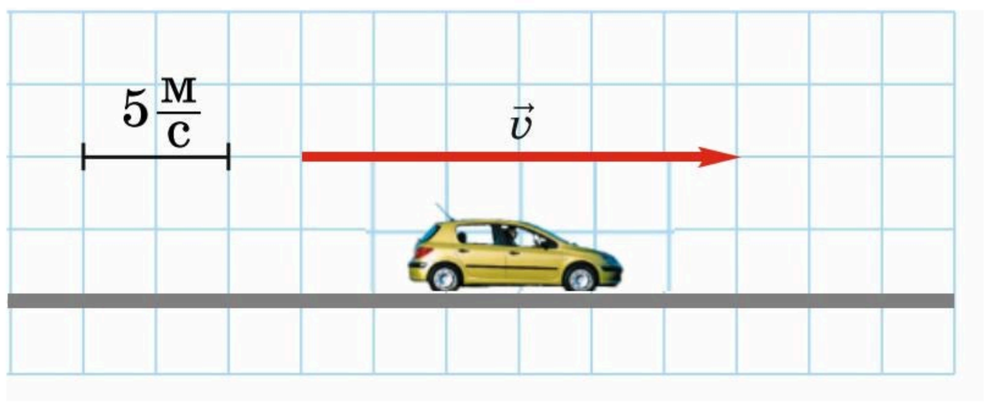
модуль швидкості v прямолінійного рівномірного руху дорівнює відношенню пройденого шляху l до проміжку часу t, протягом якого цей шлях пройдено:

$$v = \frac{l}{t}.$$

Часто модуль швидкості скорочено називають просто швидкістю. Ми теж часто це робитимемо.

Одиницею швидкості в СІ є «метр за секунду» $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$. Рухаючись зі швидкістю $1\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$, тіло за кожну секунду проходить 1 м: це швидкість неквапної прогулянки.

На рисунках швидкість тіла зазвичай позначають стрілкою, розташованою поруч із зображенням самого тіла (мал. 6.2).



Мал. 6.2

6.4. Чому дорівнює швидкість автомобіля, зображеного на малюнку 6.2?

6.5. Знайдіть швидкість руху автомобіля на малюнку 6.2.[1]

[1] *Відповідь.* 15 м/с.

6.6. Відшукайте в інтернет-джерелах рекордні результати бігу для чоловіків і жінок на 100 м, 200 м, 1000 м і 5000 м. Обчисліть швидкості бігу для кожного випадку і запишіть їх значення в одиницях СІ. Порівняйте результати своїх розрахунків з результатами, які отримали однокласники.

На практиці використовують й інші одиниці швидкості. Особливо часто використовують одиницю швидкості «кілометр за годину» $\left(\frac{\text{км}}{\text{год}}\right)$: у таких одиницях указані значення швидкості на спідометрі автомобіля (мал. 6.3).



Мал. 6.3

$$1\,\frac{\text{км}}{\text{год}} = \frac{1000\,\text{м}}{3600\,\text{с}} = \frac{1}{3{,}6}\,\frac{\text{м}}{\text{с}} \quad \Rightarrow \quad 1\,\frac{\text{м}}{\text{с}} = 3{,}6\,\frac{\text{км}}{\text{год}}\,.$$

6.7. Подайте в метрах за секунду швидкість $54\ \frac{\text{км}}{\text{год}}$.[1]

6.8. Нарисуйте схематично два автомобілі, указавши швидкості, що рухаються по одній прямій дорозі зі швидкостями 60 км/год і 120 км/год, якщо ці автомобілі їдуть у:

а) тому самому напрямку; б) протилежних напрямках.

Розв'язуючи задачі, часто доводиться переводити значення швидкості з метрів за секунду в кілометри за годину і навпаки. Наступні завдання допоможуть навчитися робити це швидко і безпомилково.

6.9. Михайло іде зі швидкістю 1 м/с.

а) Який шлях пройде Михайло за 1 год?

б) Чому дорівнює швидкість Михайла в км/год?[2]

6.10. Накресліть наведену нижче таблицю в зошиті та заповніть порожні клітинки.

---

[1] *Відповідь.* 15 м/с.

[2] *Відповідь.* а) 3,6 км. б) 3,6 км/год.

Значення швидкості в метрах за секунду	Значення швидкості в кілометрах за годину
1	3,6
	36
15	
20	
	90
30	
	144

6.11. Спідометр, зображений на малюнку 6.3, показує *найбільшу швидкість автомобіля, допустиму в місті*.

а) Яке значення цієї швидкості в одиницях СІ?

б) Скільки часу потрібно, щоб автомобіль проїхав з такою швидкістю відстань, що дорівнює довжині шкільного класу (вважайте, що вона дорівнює 10 м)?

в) Як далеко проїде автомобіль, рухаючись із такою швидкістю, за час, доки водій буде відволікатися на дзвінок телефону (вважайте, що він триває 15 с)?[1]

6.12. Спостерігаючи через вікно вагона за кілометровими стовпами, що промайнули, Михайлик виміряв, що часовий проміжок між появою сусідніх стовпів становить 30 секунд.

а) Яка швидкість потяга, у якому рухається Михайлик (у км/год і в м/с)?

б) Якою буде швидкість цього потяга, коли часовий проміжок між появою сусідніх стовпів дорівнюватиме 40 с (в км/ год і в м / с)?

в) Яким буде часовий проміжок між появою сусідніх стовпів, коли потяг буде рухатися зі швидкістю 100 км/год?[2]

6.13. Білий і чорний автомобілі рухаються прямолінійно рівномірно тією самою дорогою, до того ж швидкість білого автомобіля більша. За якого взаємного розташування автомобілів відстань між ними:

а) збільшується;

б) зменшується?

Виконайте пояснювальні схематичні рисунки для всіх можливих випадків.[1]

---

[1] *Відповідь*. а) 13,9 м/с. б) 0,72 с. в) 208 м.

[2] *Відповідь*. а) 120 км/год або 33,3 м/с; б) 90 км/год або 25 м/с; в) 36 с.

6.14. Червоний і зелений автомобілі рухаються прямолінійно рівномірно тією самою дорогою в одному напрямку. Швидкість зеленого автомобіля в системі відліку, зв'язаній з червоним автомобілем, становить 20 км/год. Якими можуть бути модулі швидкостей цих автомобілів в системі відліку, зв'язаній із Землею? Наведіть три можливі варіанти відповіді.

3. Графіки прямолінійного рівномірного руху

Графік залежності шляху від часу

З курсу математики ви знаєте, що залежність однієї величини від іншої може бути представлена не тільки формулою, а й графіком.

Формулу залежності шляху від часу за прямолінійного рівномірного руху ми можемо отримати з уже знайомої формули, що визначає швидкість руху: $\upsilon = \frac{l}{t}$.

З цієї формули випливає:

$$l = \upsilon t \, .$$

Це формула *прямої пропорційності*, знайома вам з курсу математики: шлях l прямо пропорційний часу руху t, а *коефіцієнт пропорційності — модуль швидкості* υ.

Графік прямої пропорційності — це відрізок прямої, кінець якого збігається з початком координат. Саме таким є графік залежності шляху від часу за прямолінійного рівномірного руху тіла.

6.15. Автомобіль рухається зі швидкістю 60 км/год.

а) Нарисуйте осі координат і позначте час у годинах і відстань у кілометрах.

б) Позначте одну точку графіка, яка відповідає часу 1 год.

в) Використовуючи цю точку, побудуйте графік залежності шляху від часу за три години руху автомобіля.

г) Використовуючи побудований графік, знайдіть шляхи, пройдені автомобілем: за 1,5 год; за 2,5 год.

ґ) За графіком знайдіть проміжки часу, протягом яких автомобіль проїхав з початкового положення: 100 км; 150 км.

---

[1] *Порада.* Розгляньте випадки, коли автомобілі їдуть в одному напрямку і в протилежних напрямках.

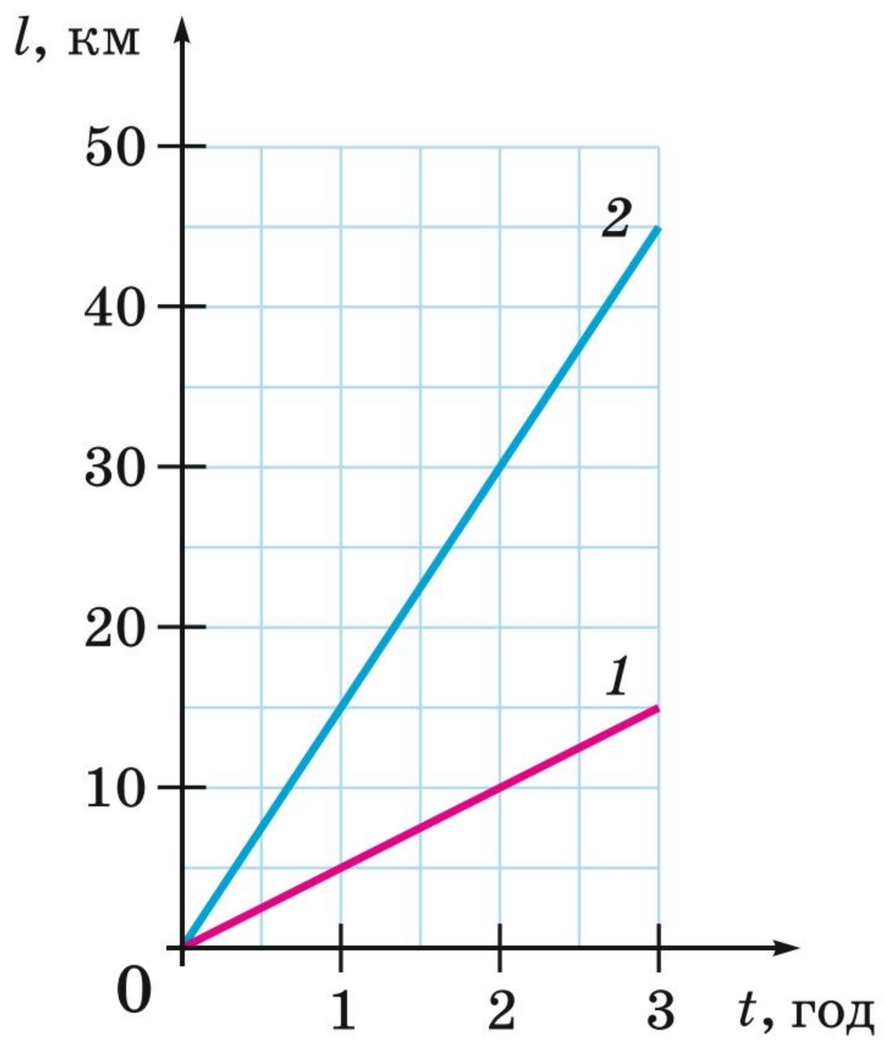
6.16. На малюнку 6.4 зображені графіки залежності шляху від часу для пішохода і велосипедиста, які одночасно вирушили по прямій дорозі.

а) Які швидкості тіл (у км/год), графіки яких позначені цифрами 1 і 2?

б) Який графік відповідає пішоходу, а який — велосипедисту? Свою відповідь обґрунтуйте.

в) Скориставшись графіком, визначте відстань між пішоходом і велосипедистом через 2 год після початку руху.

г) За допомогою графіка дізнайтеся, через який час після початку руху пішохід і велосипедист перебуватимуть на відстані 30 км один від одного.[1] [2] [3]



Мал. 6.4

Щоб побудувати графік залежності шляху від часу за прямолінійного рівномірного руху, досить побудувати *одну* точку, відмінну від початку координат, а потім накреслити відрізок, що проходить через цю точку, один кінець якого збігається з початком координат.

А щоб побудувати одну точку графіка, потрібно знати шлях, пройдений тілом за будь-який проміжок часу. Зробімо це разом.

Графік залежності швидкості від часу

Побудувати графік залежності швидкості від часу для тіла, що рухається по прямолінійно рівномірно, дуже просто: це відрізок прямої, паралельний до осі часу.

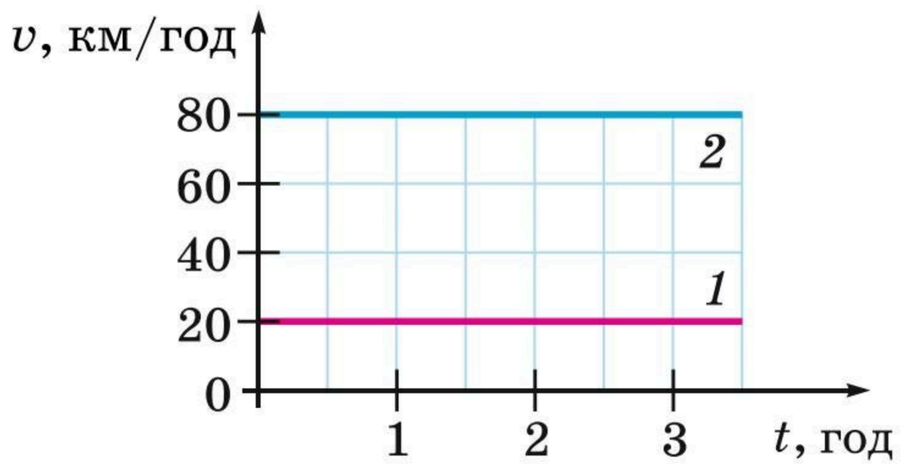
6.17. На малюнку 6.5 подані графіки залежності швидкості від часу для автомобіля і велосипедиста. Який графік відповідає велосипедисту? Побудуйте графіки, відповідні графіки залежності шляху від часу.

---

[1] *Порада.* а) Знайдіть пройдений кожним тілом шлях за 1 год. б) Швидкість нормальної ходьби не перевищує 6 км/год.

[2] *Відповідь*: а) 5 км/год і 15 км/год. б) Графік *1* відповідає пішоходу, а графік *2* — велосипедистові. в) 20 км. г) 3 год.

[3] *Примітка:* що більша швидкість тіла, то більший кут нахилу графіка залежності шляху від часу до осі часу.



Мал. 6.5

4. Як оформлювати розв'язання задачі?

Розв'язання задачі зазвичай оформлюють у вигляді таблиці. Розглянемо це на прикладі такого завдання.

Михайлик проїхав на велосипеді 15 км зі швидкістю 9 км/год. Як довго він їхав?

Дано:	***СІ***:
$l = 15$ км	15000 м
$v = 9\ \frac{\text{км}}{\text{год}}$	$2{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$
t — ?	

Розв'язання:

Швидкість за рівномірного руху $v = \frac{l}{t}$.

Отже, $t = \frac{l}{v}$.

$$t = \frac{15000\ \text{м}}{2{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 6000\ \text{с} = 2\ \text{год}\ 40\ \text{хв}.$$

Відповідь: 2 год 40 хв.

Стисло прокоментуємо такий запис розв'язання.

- У лівому стовпці таблиці *вказують, що дано*, а під рискою — те, що потрібно *знайти*.
- Якщо величини в умові задачі вказані не в одиницях СІ, рекомендують перевести їх у ці одиниці в другому стовпці.
- У правому стовпці таблиці спочатку записують основні фізичні формули, які справедливі для ситуації, описаної в умові задачі. Бажано записати назви закономірностей, що відповідають цим формулам.
- Далі записують формули, виведені з основних формул — їх використовують як рівняння для знаходження невідомої величини.
- Примітка: для невідомих величин не вводять ніяке додаткове позначення (наприклад, x). Символи всіх величин визначені тільки їхнім «фізичним змістом»: наприклад, швидкість поз-

начають v, шлях l і час t, *незалежно від того*, відомі ці величини чи невідомі.

- Відповідь записують із зазначенням відповідної фізичної одиниці. Іноді (як у цьому прикладі) доречно давати відповідь в одиницях, зручніших для даного випадку, ніж одиниці СІ.

Про що ми дізнались?

- Прямолінійний рух, за якого тіло проходить рівні шляхи за будь-які рівні проміжки часу, називають *прямолінійним рівномірним рухом*.
- *Швидкістю* прямолінійного рівномірного руху називають відношення переміщення тіла $\vec{s}$ до проміжку часу t, протягом якого відбувалося це переміщення: $\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$.
- Модуль швидкості v прямолінійного рівномірного руху дорівнює відношенню пройденого шляху l до проміжку часу t, протягом якого пройдено цей шлях: $v = \frac{l}{t}$.
- Графік залежності шляху від часу для прямолінійного рівномірного руху — це відрізок прямої, один кінець якого збігається з початком координат. Що більша швидкість тіла, то більший кут нахилу цього графіка до осі часу.
- Графік залежності швидкості від часу для прямолінійного рівномірного руху — відрізок прямої, паралельний до осі часу.

Домашній експеримент

6.18. Запропонуйте спосіб, яким ви зможете виміряти швидкість ходьби. Опишіть обраний вами спосіб вимірювання швидкості і запишіть результат вимірювання.

Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

6.19. Автомобіль проїхав 2 км за 2 хв. Запишіть швидкість автомобіля в СІ.

6.20. Мотоцикліст за першу годину проїхав 60 км, а за наступні пів години — 30 км.

а) Чи міг мотоцикліст рухатися рівномірно?
б) Чи обов'язково мотоцикліст рухався рівномірно?

6.21. Юрко пів години їхав на велосипеді зі швидкістю 6 м/с, а Василь їхав 20 хв зі швидкістю 14 км/год. Хто із хлопців рухався швидше?

Достатній рівень

6.22. Використовуючи інтернет або інші джерела, виконайте завдання:
а) Знайдіть, який звір найшвидший. Виразіть швидкість, з якою цей звір може бігти, в одиницях СІ і в км/год.
б) Зробіть те саме для найшвидшого птаха.
в) Знайдіть, чому дорівнює рекорд швидкості автомобіля. Подайте цю швидкість в одиницях СІ і в км/год.
г) Знайдіть найбільшу швидкість сучасного літака і швидкість звуку в повітрі. Порівняйте ці швидкості.

6.23. Самостійно виберіть розумні значення швидкості легкового і вантажного автомобілів (у км/год). Прийміть, що швидкість легкового автомобіля в 1,5 рази перевищує швидкість вантажівки. Занотуйте ці значення.
а) Знайдіть, чому дорівнює відношення шляхів, пройдених автомобілями за один і той самий проміжок часу.
б) За який проміжок часу вантажівка пройде такий самий шлях, що й легковий автомобіль за 3 год?

6.24. Вантажівка і автобус виїхали з населеного пункту одночасно по прямій дорозі в протилежних напрямках. Швидкість вантажівки становить 60 км/год, а швидкість автобуса — 20 м/с. Через який проміжок часу відстань між вантажівкою і автобусом становитиме 99 км?

Для задач 6.25–6.27. *Доберіть числові значення величин так, щоб отримане значення швидкості автомобіля було розумним.*

6.25. Складіть і розв'яжіть задачу на знаходження швидкості автомобіля за відомими значеннями шляху і часу руху.

6.26. Складіть і розв'яжіть задачу на знаходження пройденого велосипедистом шляху за відомими значеннями його швидкості і часу руху.

6.27. Складіть і розв'яжіть задачу на знаходження часу руху пішохода за відомими значеннями його швидкості і пройденого шляху.

Високий рівень

6.28. Гепард переслідує антилопу. Гепард може бігати зі швидкістю 30 м/с, але тільки 1 хв. Антилопа може бігти тривалий час зі швидкістю 90 км/год.

а) Чи наздожене гепард антилопу, якщо початкова відстань між ними становила 400 м?

б) За якої початкової відстані між звірами змінилася б відповідь?[1]

6.29. Два автомобілі одночасно виїхали з двох міст назустріч один одному по прямій дорозі: один зі швидкістю 80 км/год, другий зі швидкістю 120 км/год. Відстань між містами — 400 км. Через який час після початку руху:

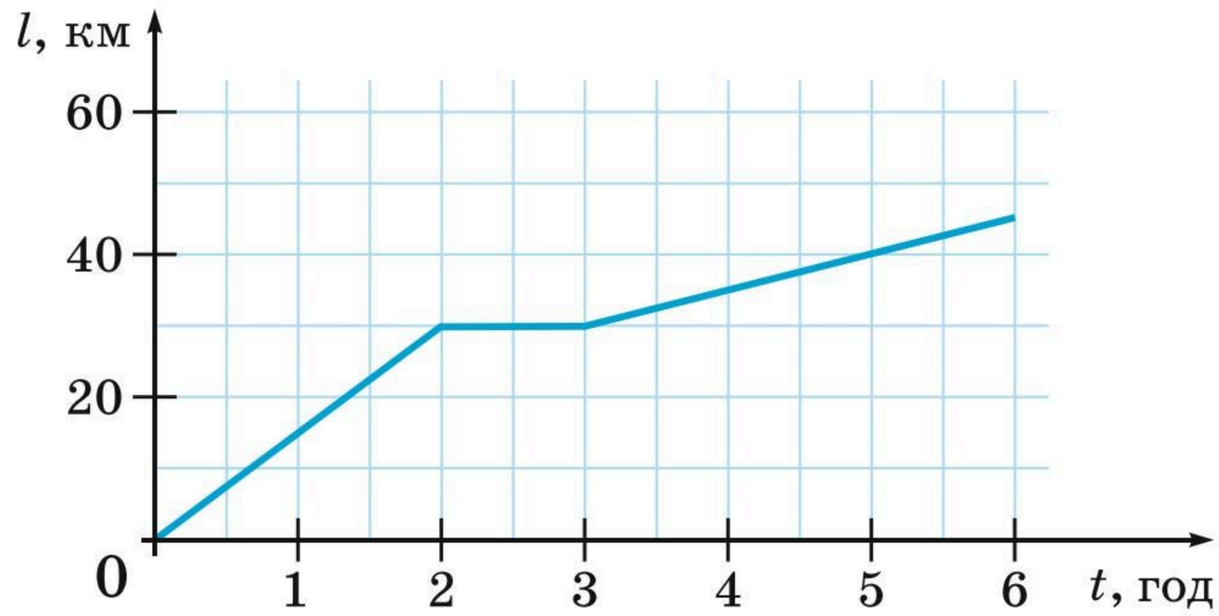
а) автомобілі зустрілися?

б) відстань між автомобілями дорівнювала 100 км?[2]

6.30. Юрко вийшов із села і йшов прямою дорогою зі швидкістю 4 км/год. Через 2 год після цього Євген виїхав на велосипеді в тому самому напрямку зі швидкістю 12 км/год. Задайте два запитання за цією умовою і дайте на них відповіді.

6.31. Уявіть, що вздовж земного екватора була побудована хороша дорога. За який час можна було б об'їхати Землю по цій дорозі на автомобілі, якщо їхати 8 год на добу зі швидкістю 100 км/год? Самостійно знайдіть інформацію, необхідну для розв'язання.

6.32. На малюнку 6.6 зображено графік залежності шляху від часу для Сашка, який виїхав із села на велосипеді і дістався до іншого села. По дорозі велосипед зламався, і Сашко спробував його полагодити. Дізнайтеся з графіка якомога більше інформації.



Мал. 6.6

---

[1] *Порада.* Зручно знайти спочатку швидкість гепарда в системі відліку, зв'язаній з антилопою.

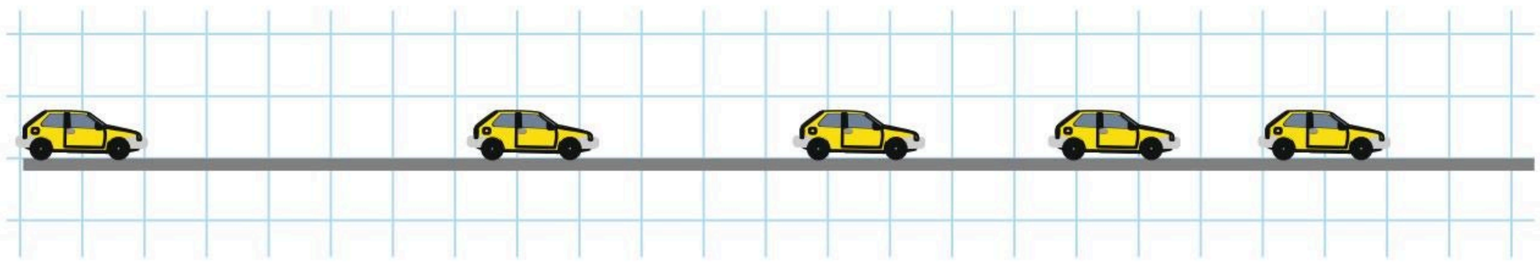
[2] *Порада.* б) Є кілька шуканих моментів часу.

§ 7. ПРЯМОЛІНІЙНИЙ НЕРІВНОМІРНИЙ РУХ

1. Що таке нерівномірний рух?
2. Середня швидкість нерівномірного руху.
3. Ключ до розв'язування задач.

1. Що таке нерівномірний рух?

На малюнку 7.1 показано послідовні положення автомобіля через рівні проміжки часу. Ми бачимо, що за ці проміжки часу автомобіль проходить *різні шляхи*.



Мал. 7.1

Рух, за якого тіло проходить *різні* шляхи за *рівні* проміжки часу, називають *нерівномірним*.

7.1. Сашко і Тарас їздять на велосипедах. Сашко проїхав 2 км за 10 хв, а за наступні 20 хв — 3 км, а Тарас за 15 хв проїхав 3 км, а за наступні 20 хв — 4 км. Про кого можна стверджувати, що він рухався нерівномірно?[1]

Миттєва швидкість

Для опису нерівномірного руху тіла використовують *миттєву* швидкість — швидкість тіла в даний момент часу. Детальніше поняття миттєвої швидкості ми розглянемо в старших класах, а поки ви можете наочно уявити, наприклад, миттєву швидкість автомобіля як показ спідометра в цей момент.

2. Середня швидкість нерівномірного руху

Уявіть, що о 9 годині ранку ви вирушили потягом і приїхали на потрібну станцію об 11 ранку. За кілометровими стовпами ви визначили, що відстань, пройдена потягом, становить 100 км. По дорозі було кілька зупинок, перед кожною з яких потяг гальмував, а потім — розганявся.



[1] *Відповідь*. Тільки про Сашка.

Рух потяга був, звичайно, *нерівномірним*. Яку фізичну величину можна використовувати для характеристики такого руху?

Цією величиною є *середня швидкість*.

Середньою швидкістю руху тіла називають відношення пройденого шляху l до проміжку часу t, за який пройдено цей шлях:

$$v_c = \frac{l}{t}.$$

7.2. Чому дорівнює середня швидкість потяга в прикладі, описаному вище?[1]

Ви, звичайно, помітили, що формула для середньої швидкості така сама, як і для швидкості рівномірного руху. Така схожість не випадкова, адже *середня швидкість нерівномірного руху дорівнює швидкості такого рівномірного руху, за якого тіло проходить такий самий шлях за такий самий час*.

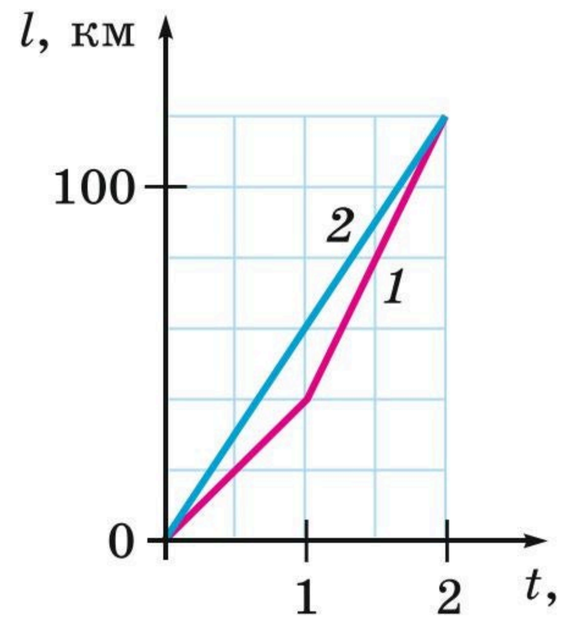
Розгляньмо приклад.

7.3. На малюнку 7.2 зображено графіки залежності шляху від часу для двох автомобілів.

а) Який автомобіль рухався рівномірно? Яка його швидкість?

б) Яка середня швидкість автомобіля, який рухався нерівномірно, за 2 год руху?

в) Яка швидкість автомобіля, який рухався нерівномірно протягом першої години руху; другої години?[2]



Мал. 7.2

[1] *Відповідь*. 50 км/год.

[2] *Відповідь*. а) Перший; 60 км/год. б) 60 км/год. в) 40 км/год; 80 км/год.

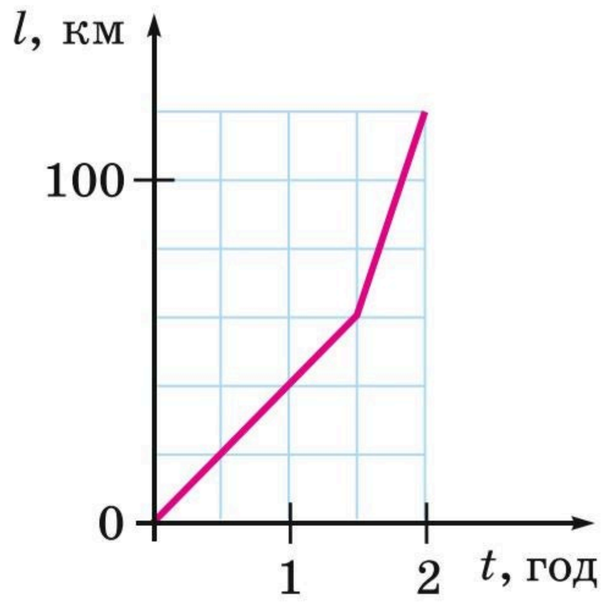
У наведеному прикладі середня швидкість автомобіля, який рухався нерівномірно, дорівнює середньому арифметичному швидкостей, з якими цей автомобіль рухався протягом першої та другої годин. Але чи завжди це справедливо?

Розгляньмо подібний приклад.

7.4. На малюнку 7.3 зображено графік залежності шляху від часу для автомобіля.

а) Яка швидкість транспортного засобу протягом першої години руху; другої години? Чому дорівнює середнє арифметичне цих швидкостей?

б) Яка середня швидкість автомобіля за 2 год руху?[1]



Мал. 7.3

На цьому прикладі ми бачимо, що *середня швидкість не обов'язково дорівнює середньому арифметичному швидкості тіла на різних ділянках руху*.

3. Ключ до розв'язування задач

Деякі задачі «на середню швидкість» можуть здатися складними. Ми дамо вам «ключ» до розв'язування складних задач.

Ось одна з таких задач.

Юрко пів години їхав на велосипеді зі швидкістю 20 км/год, а потім проїхав ще 12 км зі швидкістю 16 км/год. Яка середня швидкість руху Юрка на велосипеді?

Пошук *прямої* відповіді на запитання задачі шляхом застосування формули $v_c = \frac{l}{t}$ не веде до успіху: в умові не дано ані весь шлях l, ані весь час руху t.

---

[1] *Відповідь*. а) 40 км/год; 120 км/год; 80 км/год. б) 60 км/год.

І все ж таки, **ключ до розв'язання задачі — у її умові, а не в запитанні!** «Секрет» розв'язання задачі полягає в тому, щоб *зосередитися не на запитанні, а на умові*.

Закриємо запитання задачі на деякий час і зосередимося на її умові. Яку інформацію з неї можна «витягнути»?

1) Нам дано час руху і швидкість на першій ділянці (позначимо їх t_1 і υ_1), тому можна знайти пройдений шлях на цій ділянці:

$$l_1 = \upsilon_1 t_1 \Rightarrow l_1 = 20\,\frac{\text{км}}{\text{год}} \cdot 0,5\ \text{год} = 10\ \text{км}\,.$$

2) Нам також дають швидкість на другій ділянці і пройдену відстань (υ_2 і l_2), тому можна знайти час руху на цій ділянці:

$$t_2 = \frac{l_2}{\upsilon_2} \Rightarrow t_2 = \frac{12\ \text{км}}{16\,\frac{\text{км}}{\text{год}}} = 0,75\ \text{год}\,.$$

3) Знаючи шляхи, пройдені на першій і другій ділянках, а також час руху на цих ділянках, можна знайти *весь шлях* і *весь час руху*:

$$l = l_1 + l_2 \Rightarrow l = 10\ \text{км} + 12\ \text{км} = 22\ \text{км}\,;\ t = t_1 + t_2 \Rightarrow t = 0,5\ \text{год} + 0,75\ \text{год} = 1,25\ \text{год}$$

.

4) Знаючи весь шлях і весь час руху, можна знайти середню швидкість:

$$\upsilon_\text{с} = \frac{l}{t} \Rightarrow \upsilon_\text{с} = \frac{22\ \text{км}}{1,25\ \text{год}} = 17,6\,\frac{\text{км}}{\text{год}}\,.$$

Отже, відповідь на запитання задачі ми знайшли, почавши *досліджувати* її умову, тобто поставивши запитання: «*Яку інформацію можна витягти з умови*?».

Коли ви витягнете інформацію з умови, то виявите, що або знайшли відповідь на запитання задачі, або стало зрозуміло, як легко її знайти. І ось що важливо: не побачивши прямої відповіді на запитання задачі, ви не заплутаєтеся, а почнете *діяти*, рухаючись шляхом, який приведе вас до успіху.

Зауважимо, що ми вводили *позначення для величин, які характеризують ситуацію, описану в умові*, — навіть якщо ці величини не вказані і їх не потрібно знаходити. І вам теж радимо це зробити, щоб записати всі співвідношення, які справедливі для ситуації, описаної в умові задачі.

7.5. Михайлик проїхав годину на велосипеді, а потім пройшов таку саму *відстань*. А його друг Юрко проїхав на велосипеді 15 км, потім такий самий час ішов пішки. Вважайте швидкість руху на велосипеді 15 км/год, а швидкість ходьби 5 км/год.

а) Який шлях подолав кожен із друзів?

б) Як довго рухався кожен з них?

в) Чому дорівнює середня швидкість кожного з них?

г) Чому середні швидкості відрізняються?[1]

Про що ми дізнались?

- Рух, за якого тіло проходить *різні* шляхи через *рівні* проміжки часу, називають нерівномірним.
- *Середня швидкість руху* тіла — це відношення пройденого шляху l до проміжку часу t, за який пройдено цей шлях: $v_c = \frac{l}{t}$.
- Секрет розв'язування задач полягає в тому, щоб *зосередитися не на запитанні, а на умові*. Витягніть з умови якомога більше інформації, і ви знайдете відповідь на запитання задачі.

Домашній експеримент

7.6. Заведіть іграшкову машинку і дайте їй рухатися до зупинення. Які виміри потрібно зробити, щоб виміряти її середню швидкість? Надайте результати вимірювань і розрахунки.

Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

7.7. Автомобіль проїхав 20 км за 20 хв, а потім проїхав 40 км за 30 хв. Чому дорівнює середня швидкість автомобіля на всьому шляху?

7.8. Велосипедист проїхав 10 км за 40 хв, потім зупинився на 5 хв, після чого за 15 хв проїхав ще 5 км.

а) Чому дорівнює середня швидкість велосипедиста?

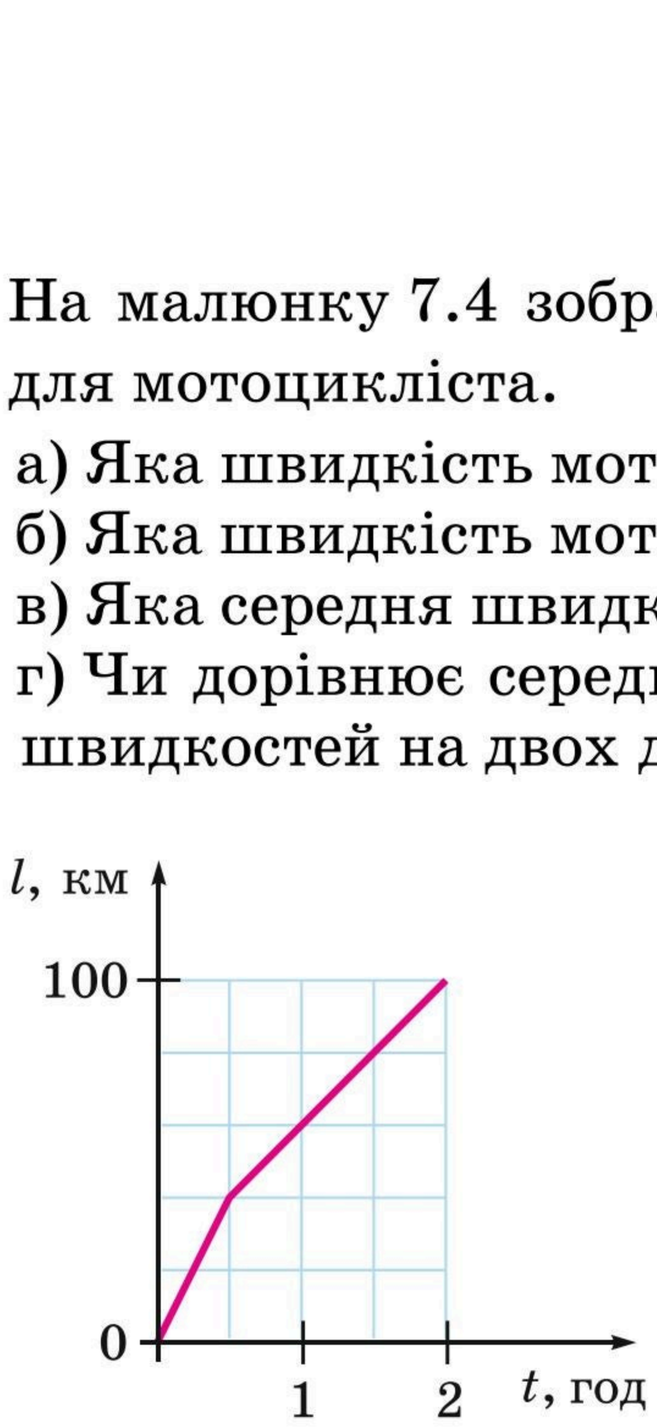
б) Якою була б його середня швидкість, якби він не зупинявся?

---

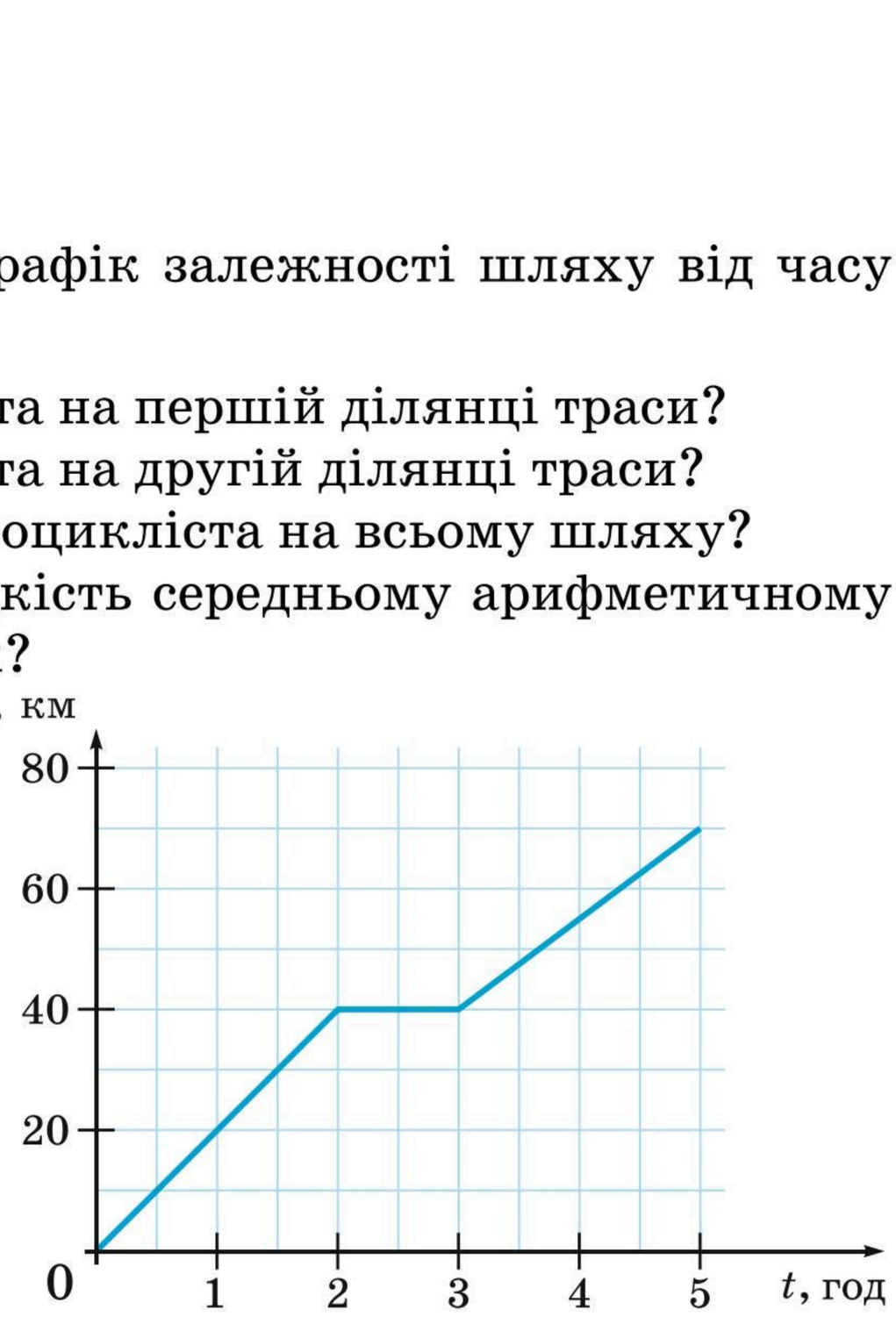
[1] *Відповідь*. а) Шлях Михайлика — 30 км, шлях Юрка — 20 км. б) Михайлик рухався 4 години, Юрко — 2 год. в) Середня швидкість Михайлика — 7,5 км/год, середня швидкість Юрка — 10 км/год. г) Михайлик ішов довше, ніж їхав, а Юрко їхав і йшов однаковий час.

7.9. На малюнку 7.4 зображено графік залежності шляху від часу для мотоцикліста.

а) Яка швидкість мотоцикліста на першій ділянці траси?
б) Яка швидкість мотоцикліста на другій ділянці траси?
в) Яка середня швидкість мотоцикліста на всьому шляху?
г) Чи дорівнює середня швидкість середньому арифметичному швидкостей на двох ділянках?



Мал. 7.4



Мал. 7.5

Достатній рівень

7.10. Відстань між двома містами, яка становить 270 км, потяг проїхав без зупинки за 5 годин. Потім до розкладу потяга додали дві зупинки по 15 хв кожна, але його середня швидкість не змінилася.

а) Чому дорівнювала середня швидкість потяга?
б) З якою швидкістю потяг повинен рухатися між зупинками за новим розкладом?[1]

7.11. Віктор і Михайло одночасно виїхали на велосипедах з одного села і приїхали в інше теж одночасно через 2 год. При цьому Віктор їхав без зупинки, а Михайло зробив зупинку в дорозі на 1 год. Між зупинками велосипедисти рухалися прямолінійно і рівномірно.

а) Середня швидкість якого велосипедиста більша? У скільки разів?
б) Швидкість кого з велосипедистів під час руху між зупинками більша? У скільки разів?

---

[1] *Порада.* б) Дізнайтеся, протягом якого часу потяг рухається за новим розкладом.

7.12. На малюнку 7.5 зображено графік залежності шляху від часу для велосипедиста.

а) Чому дорівнює середня швидкість велосипедиста?

б) Якою була б середня швидкість велосипедиста, якби він не зробив зупинку, а його швидкість на обох ділянках шляху залишилася б такою, як на графіку?

Високий рівень

7.13. На першій ділянці шляху автомобіль їхав зі швидкістю 80 км/год, а на другій ділянці — зі швидкістю 100 км/год.

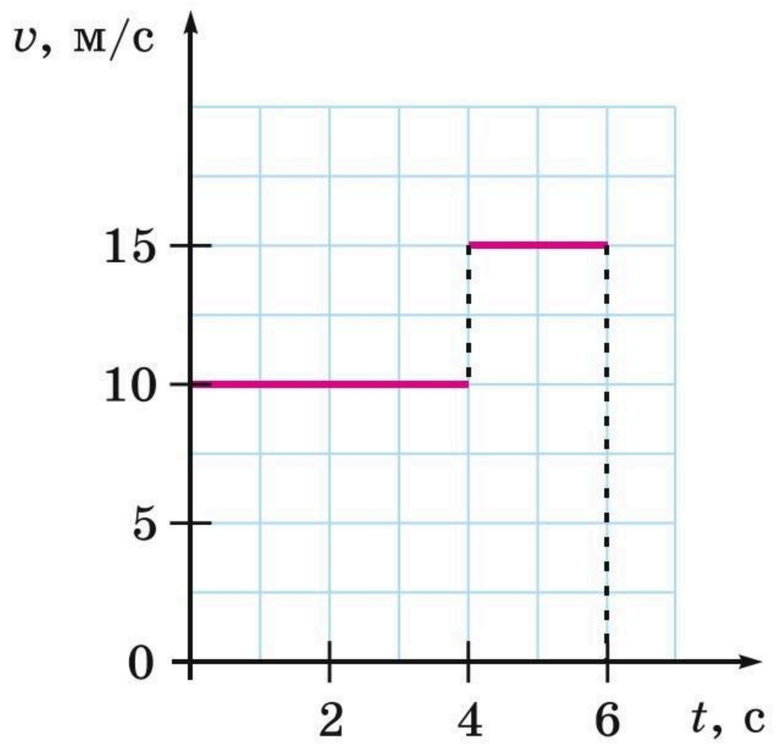
а) Чому дорівнює відношення *часів руху* на двох ділянках, якщо середня швидкість за весь час подорожі становить 90 км/год?

б) Чому дорівнює відношення *шляхів* на двох ділянках?

7.14. На малюнку 7.6 зображено графік залежності швидкості від часу для вантажівки.

а) Побудуйте графік залежності шляху від часу для вантажівки.

б) Знайдіть середню швидкість вантажівки на всьому шляху (в км/год).



Мал. 7.6

7.15. Велосипедист підіймався по схилу зі швидкістю 10 км/год, потім розвернувся і повернувся в початкове положення через 1,5 год після початку руху, рухаючись униз зі швидкістю 20 км/год.

а) Яка довжина схилу?

б) Чому дорівнює середня швидкість велосипедиста протягом усієї подорожі?

в) Як довго їхав велосипедист: угору; униз?

г) Побудуйте графік залежності шляху від часу для велосипедиста.

ГОЛОВНЕ В ЦЬОМУ РОЗДІЛІ

- *Механічним рухом* називають зміну з часом положення тіла *відносно* інших тіл.
- Тіло, відносно якого розглядають рух інших тіл в даній ситуації, називають *тілом відліку*.
- Тіло відліку, зв'язана з ним система координат і годинник утворюють разом *систему відліку*.
- Фізичну модель тіла, розмірами якого *в даній задачі* можна знехтувати, називають *матеріальною точкою*.
- *Траєкторією* руху тіла називають лінію, яку описує під час руху тіло, яке можна вважати матеріальною точкою.
- Довжину траєкторії руху тіла називають *шляхом*, який пройшло тіло.
- Напрямлений відрізок, який з'єднує початкове і кінцеве положення тіла, називають *переміщенням*.
- Прямолінійний рух, під час якого тіло за будь-які рівні проміжки часу проходить рівні шляхи, називають *прямолінійним рівномірним рухом*.
- Швидкістю прямолінійного рівномірного руху називають відношення переміщення тіла $\vec{s}$ до проміжку часу t, за який відбулося це переміщення: $\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$.
- Модуль швидкості v прямолінійного рівномірного руху дорівнює відношенню пройденого шляху l до проміжку часу t, за який пройдено цей шлях: $v = \frac{l}{t}$.
- Графіком залежності шляху від часу для прямолінійного рівномірного руху є відрізок прямої, один кінець якого збігається з початком координат. Що більша швидкість тіла, то більший кут нахилу цього графіка до осі часу.
- Графіком залежності швидкості від часу для прямолінійного рівномірного руху є відрізок прямої, паралельний до осі часу.
- Рух, під час якого тіло за *рівні* проміжки часу долає *різні* шляхи, називають *нерівномірним*.

- Середньою швидкістю руху тіла називають відношення пройденого шляху l до проміжку часу t, за який пройдено цей шлях:

$$v_{\text{с}} = \frac{l}{t}.$$

- «Секрет» розв'язування задач полягає в тому, щоб *перевести увагу із запитання на умову*. Витягніть якнайбільше інформації з умови — і ви знайдете відповідь на запитання задачі.

РОЗДІЛ ІІІ. СИЛИ В ПРИРОДІ

§ 8. ЯВИЩЕ ІНЕРЦІЇ. МАСА ТІЛА

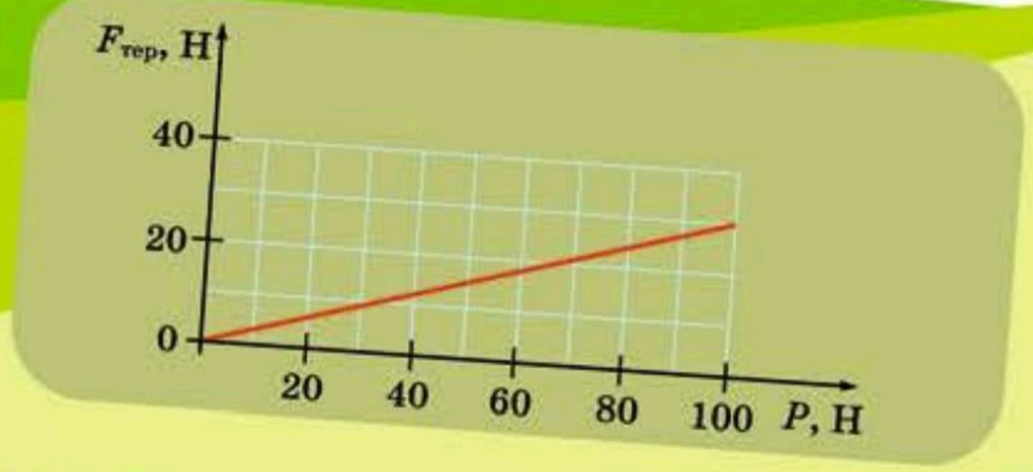
§ 9. ГУСТИНА РЕЧОВИНИ

§ 10. ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. СИЛИ В МЕХАНІЦІ

§ 11. СИЛА ПРУЖНОСТІ. РІВНОДІЙНА. ДОДАВАННЯ СИЛ

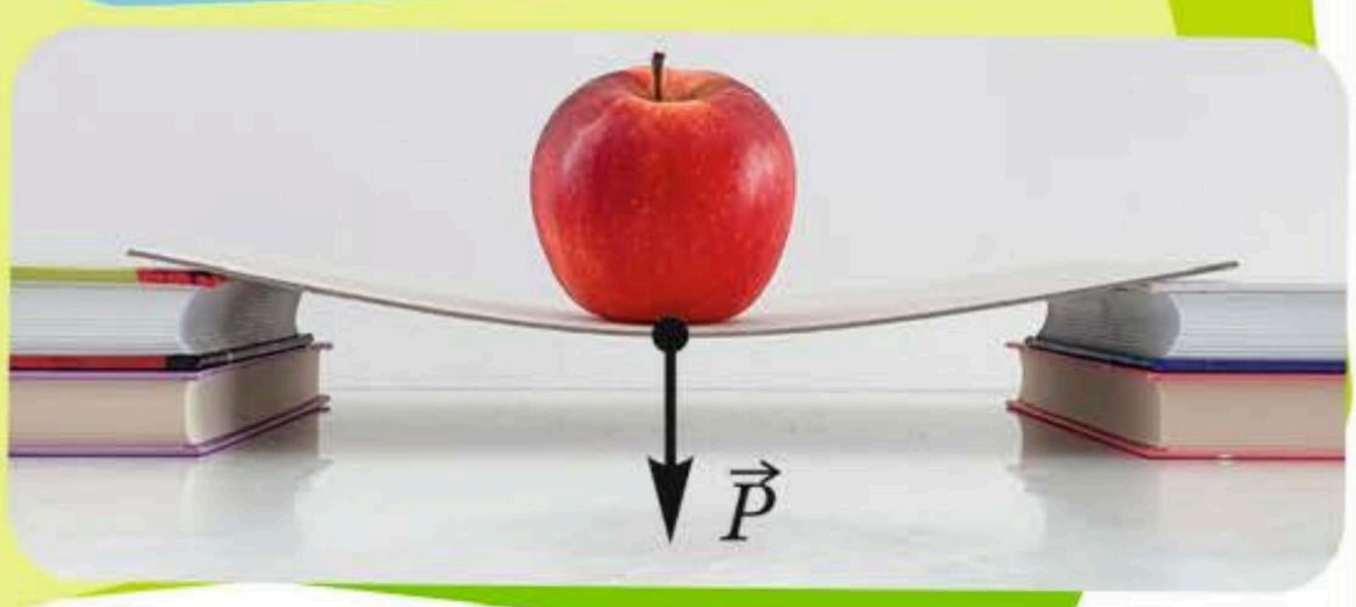
§ 12. СИЛА ТЯЖІННЯ. ВАГА

§ 13. ТЕРТЯ









§ 8. ЯВИЩЕ ІНЕРЦІЇ. МАСА ТІЛА

1. Чи може тіло рухатися самостійно?
2. Явище інерції.
3. Маса тіла.
4. Вимірювання маси.

1. Чи може тіло рухатися «самостійно»?

Спостереження

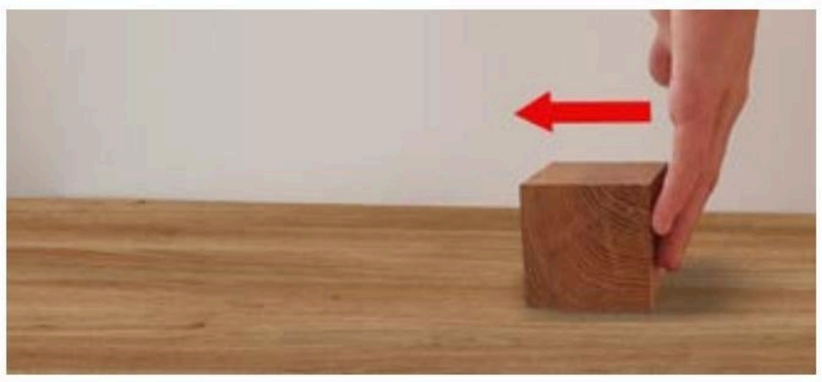
Віддавна люди помітили, що віз їде доти, доки його тягне кінь. Коли кінь зупиняється, зупиняється й віз. Листя на деревах рухається, коли дме вітер. Щойно вітер вщухає, листя завмирає.

Тіла, які рухаються самі собою, люди колись вважали живими: так народжувалися міфи про богів або духів вітру, води, вогню.

Виходячи з цих зорових уявлень, давньогрецький учений Арістотель висловив думку про те, що неживе тіло рухається тільки тоді, коли хтось його рухає. Протягом двох тисячоліть ця позиція здавалася настільки очевидною, що ніхто не ставив її під сумнів. Першим засумнівався в її правильності вже відомий вам Галілео Галілей. Опираючись на свій метод наукового дослідження, він вважав позицію Арістотеля *гіпотезою*, яка повинна бути перевірена дослідом.

Проведемо дослід

Штовхніть брусок, що лежить на горизонтальній струганій дерев'яній дошці (мал. 8.1 а).



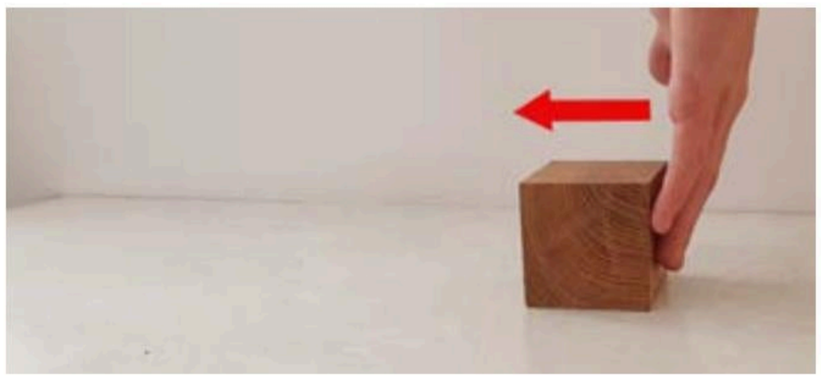
Мал. 8.1 а



Мал. 8.1 б

Зазначимо, що брусок *не зупиняється відразу* після поштовху — якийсь час він *ковзає* сам собою (мал. 8.1 б), хоча його **ніхто** не рухає!

Повторимо експеримент, замінивши *дошку на поліровану* поверхню (мал. 8.2). Виявимо, що після *такого самого* поштовху брусок ковзатиме значно *довше*.



Мал. 8.2 а



Мал. 8.2 б

Яких висновків можна дійти з цього досліду?

1. Тіло *може* пересуватися самостійно.

2. Рух тіла по горизонтальній поверхні *сповільнюється*: це означає, що взаємодія з поверхнею *гальмує* тіло.

3. Що *гладкіша* поверхня, то *довше* тіло ковзає після поштовху. Це свідчить про те, що швидкість тіла зменшується через *тертя* між тілом і поверхнею.

2. Явище інерції

На основі своїх дослідів, таких як описаний вище, Галілей відкрив

явище інерції[1]: якщо на тіло не впливають інші тіла, то воно перебуває в спокої або рухається з постійною швидкістю, тобто по прямій і рівномірно.[2]

Приклади явища інерції

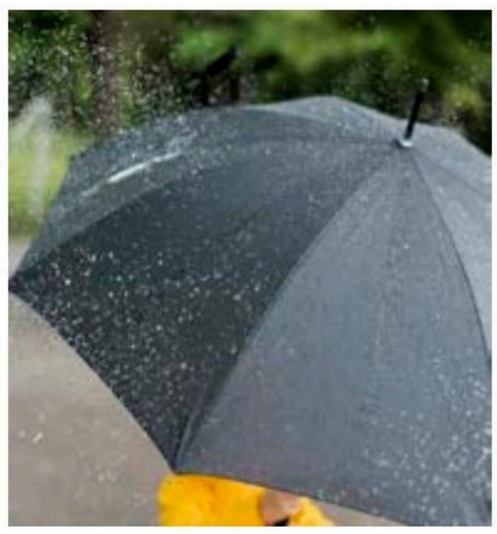
Горизонтальною дорогою можна тривалий час їхати на велосипеді, не крутячи педалі (мал. 8.3 а).



Мал. 8.3 а



Мал. 8.3 б



Мал. 8.3 в

---

[1] Явище інерції, яке відкрив Галілей, іноді формулюють як *закон* інерції.

[2] Говорячи про рух тіл, розглядатимемо рух відносно Землі.

Шайба тривалий час ковзає по льоду після удару ключкою (мал. 8.3 б).

Краплі води під час струшування злітають з мокрого одягу або парасольки, тому що краплі продовжують рух одягу або парасольки (мал. 8.3 в).

8.1. Наведіть свої приклади явища інерції.

8.2. Чому, коли автобус різко гальмує, пасажири різко переміщуються вперед?

8.3. Чому автомобіль, що рухається, не може миттєво зупинитися? Якими можуть бути наслідки цього явища для водіїв і пішоходів?

Явище інерції широко використовують у побуті, спорті й техніці.

8.4. Наведіть різні приклади застосування явища інерції.

Чи може бути небезпечним явище інерції?

Чи можна миттєво зупинити автомобіль, що рухається? Чому?

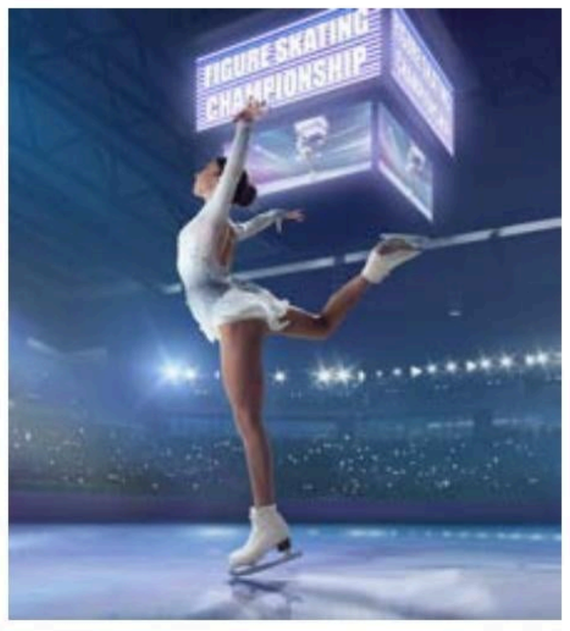
8.5. Які висновки випливають з неможливості миттєвої зупинки рухомого транспортного засобу?

Чому явище інерції тривалий час не було відкритим?

Річ у тім, що вчені не використовували *науковий метод дослідження*, наприклад, ніхто не вивчав вплив тертя на рух тіл. З цієї причини припинення руху тіла (його уповільнення) пояснювали не *взаємодією* тіл за рахунок тертя, а тим, що тіло не може рухатися саме собою.

І тільки Галілей, використовуючи *науковий метод дослідження*, ставив *експерименти*, які довели, що тертя *між тілами* уповільнює рух тіл.

Сьогодні, коли люди навчилися зменшувати тертя, явище інерції стало звичним (мал. 8.4).



Мал. 8.4

3. Маса тіла

Явище інерції означає, що змінити швидкість тіла можна лише дією *на* це тіло іншого тіла.

Проведемо дослід

Штовхнемо два однакові візки приблизно з однаковою силою: один порожній, а другий навантажений, наприклад, піском. Помітимо, що порожній візок набув *більшої* швидкості після поштовху, ніж навантажений.

Так, змінити швидкість навантаженого візка *важче*, ніж порожнього: кажуть, що *інертність* навантаженого візка більша, ніж порожнього.

Інертність — це властивість тіла зберігати свою швидкість: що більша інертність тіла, то важче змінити його швидкість.

Слова «інертність» та «інерція» дуже схожі, але їхні значення різні: інертність — *властивість* тіла, а *інерція* — фізичне *явище*.

Мірою інертності тіла є його *маса*.

Дослід, описаний вище, свідчить, що маса навантаженого візка більша за масу порожнього візка.

Одиниця маси

Одиницею маси СІ є *кілограм* (кг). З великою точністю можна вважати, що 1 кг — це маса одного літра прісної води (виходячи з цього, була обрана одиниця маси СІ). Візьміть літрову коробку молока або соку — і ви отримаєте уявлення про кілограм (мал. 8.5).



Мал. 8.5

Часто використовують і похідні одиниці: *грам* (г) — дорівнює 0,001 кг, а також тонна (т) — дорівнює 1000 кг.

8.6. Користуючись інтернетом, знайдіть маси: мухи, ластівки, слона, кита. Знайдіть також маси: найлегшого автомобіля, найважчого автомобіля.

8.7. Знайдіть маси: Місяця, Землі, Сонця. Враховуйте, що для запису великих чисел використовують степені з основою 10 (наприклад: $50\,000\,000 = 5 \cdot 107$; $0,02 = \frac{2}{100} = 2 \cdot 10^{-2}$).

8.8. Знайдіть маси будь-яких трьох тіл на ваш вибір.

4. Вимірювання маси

Як ви вже знаєте, *виміряти* будь-яку фізичну величину означає встановити, у скільки разів значення вимірюваної величини більше (або менше), ніж *одиниця* даної величини.

Поговоримо про два способи вимірювання мас тіл.[1]

Порівняння мас тіл за їх взаємодією

Нехай два тіла в початковий момент перебувають у спокої і в результаті взаємодії *між ними* набули швидкості, модулі яких дорівнюють v_1 і v_2. Тоді відношення *мас тіл обернене відношенню цих швидкостей*:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1}.$$

Вимірюючи відношення швидкостей тіл, ми знаходимо відношення їхніх мас.

Проведемо дослід

Візьмемо два *однакові* візки. Прикріпимо дві однакові легкі еластичні пластини на візки, зігнемо їх і зв'яжемо ниткою два візки (мал. 8.6 а).

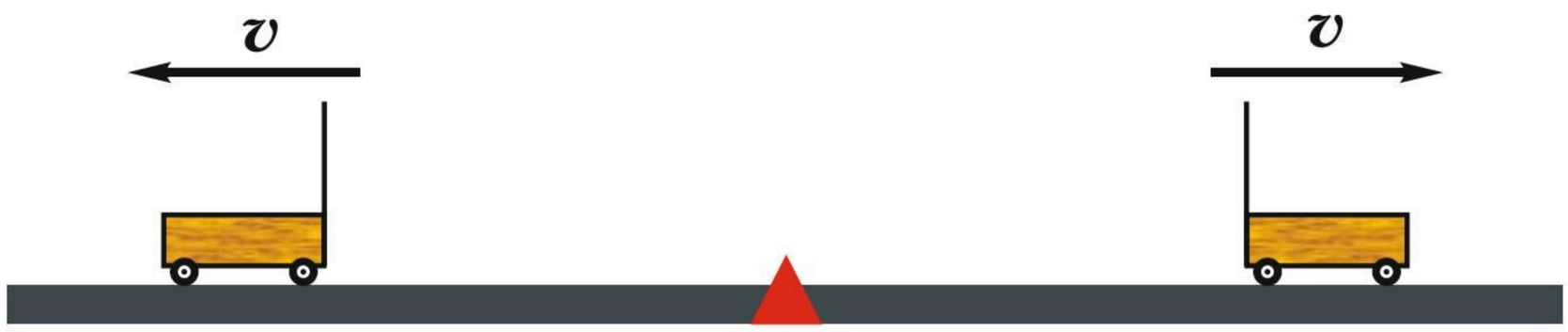
Перепалимо нитку — пластини розпрямляться, у результаті чого візки відштовхнуться один від одного.

Вимірювання показують, що в цьому випадку візки набувають *рівних* за модулем швидкостей (мал. 8.6 б). Тому маси однакових візків *рівні*.



Мал. 8.6 а

[1] Обґрунтування цих методів виходить за рамки курсу фізики 7 класу; їх ми наведемо пізніше.



Мал. 8.6 б

Повторимо експеримент, поставивши на один з візків такий самий візок. У цьому випадку «подвійний» візок набуде *удвічі меншої* швидкості, ніж порожній (мал. 8.6 в).



Мал. 8.6 в

Тому маса *двох* однакових візків *удвічі* більша за масу одного візка.

Ці експерименти дозволяють дійти такого висновку: *загальна маса декількох тіл дорівнює сумі їхніх мас.*

Вимірювання маси зважуванням

Земля притягує до себе всі тіла (про це ми поговоримо більш детально далі). Що більша маса тіла, то більша сила тяжіння до Землі. Цю *силу вимірюють за допомогою ваг* (мал. 8.7).

Для зручності вимірювання шкалу ваг часто калібрують у кілограмах. При цьому ваги показують, *у скільки разів* дане тіло сильніше притягується до Землі, ніж тіло, маса якого дорівнює 1 кг.



Мал. 8.7

8.9. Згідно з мал. 8.7 визначте масу тіла, яке зважують.

Вимірювання маси тіл шляхом зважування є найпростішим способом вимірювання маси, і тому його використовують доволі часто.

Наступна лабораторна робота присвячена вимірюванню маси тіла методом зважування.

Лабораторна робота № 5

Вимірювання маси тіл

Мета: виміряти маси різних тіл за допомогою терезів.

Обладнання: важільні терези з набором важків, кілька невеликих тіл різної маси, посудина з водою, порожня пластикова склянка, піпетка.[1]

Пояснення: для вимірювання маси дрібних тіл (крапель води) можна скористатися методом рядів.

Перебіг роботи

1. Перевірте, чи зрівноважені терези. Якщо ні, зрівноважте їх, використовуючи невеликі шматочки паперу.

2. Помістіть тіло, масу якого ви хочете виміряти, на *ліву* шальку терезів. Поставте важки на праву шальку терезів так, щоб терези були в рівновазі. Почніть з важків більшої маси, доставляйте або забирайте важки на шальку, поки терези не будуть зрівноважені. Беріть важки пінцетом.

3. Зрівноваживши терези, порахуйте загальну масу важків на правій шальці і запишіть її: вона дорівнює масі цього тіла.

4. Щоб виміряти масу запропонованого вам об'єму води, вимірюйте спочатку масу порожньої склянки, а потім масу склянки з водою. Запишіть усі результати вимірювань і обчислень.

5. Для вимірювання маси однієї краплі води скористайтеся методом рядів (виміряйте, наприклад, масу 100 крапель). Запишіть результати вимірювань і обчислень.

6. Зробіть висновки і запишіть їх.

Про що ми дізналися?

- *Явище інерції*: якщо на тіло не діють інші тіла, то воно перебуває у спокої або рухається з постійною швидкістю, тобто по прямій і рівномірно. Явище інерції відкрив Галілей.
- *Інертність* — це властивість тіла зберігати свою швидкість: що більша інертність тіла, то важче змінити його швидкість.
- Мірою інертності тіла є його *маса*.
- Одиницею маси СІ є кілограм (кг). Один кілограм приблизно дорівнює масі одного літра прісної води.

---

[1] Також можна використовувати електронні ваги, якщо їх у кабінеті фізики є достатньо.

- Порівняти маси двох тіл можна в результаті взаємодії між цими тілами.
- Найпростішим способом вимірювання маси тіла є зважування.

Домашній експеримент

8.10. На порожню склянку покладіть невеликий аркуш щільного картону або пластику, а на нього — монетку так, щоб вона опинилася над центром склянки. Різко штовхніть картон — він вилетить з-під монетки, і монетка впаде в склянку. Чому монета не полетіла разом з аркушем картону?

8.11. Покладіть аркуш щільного гладкого паперу на край столу так, щоб половина аркуша виступала за край столу. На частину аркуша на столі поставте повну склянку з водою. Міцно притримуючи пальцями край аркуша, що виступає за край столу, різко вдарте ребром долоні по частині аркуша, яка не лежить на столі: лист вислизнув з-під склянки, і жодна крапля води не вилилася! Чому?

8.12. Виміряйте масу кількох тіл за допомогою домашніх терезів і запишіть результати вимірювань.

Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

8.13. Розкажіть коротко про явище інерції і наведіть приклади цього явища.

8.14. Чому автомобіль з вимкненим двигуном може деякий час їхати по горизонтальній дорозі? Чому при цьому знижується його швидкість?

8.15. Людина, що біжить, спотикається і падає. Чому вона зазвичай падає *вперед*?

8.16. У чому проявляється інертність тіла? Яка фізична величина є мірою інертності?

8.17. Що таке одиниця маси СІ? Наведіть приклад тіла, маса якого дорівнює 3 кг.

8.18. Які одиниці маси використовують на практиці? Наведіть приклад тіла, маса якого приблизно 1 тонна.

8.19. Коротко опишіть відомі вам методи вимірювання маси тіла.

Достатній рівень

8.20. У яких видах спорту і як використовують явище інерції?

8.21. Автобус повертає праворуч. У який бік і з якої причини будуть відхилятися пасажири автобуса?

8.22. Чому велосипедист не повинен гальмувати надто різко? Що з ним може статися, якщо він занадто різко загальмує?

8.23. Поясніть, чому віз зупиняється, коли кінь перестає його тягнути. Чому листя перестає рухатися, коли вітер стихає?

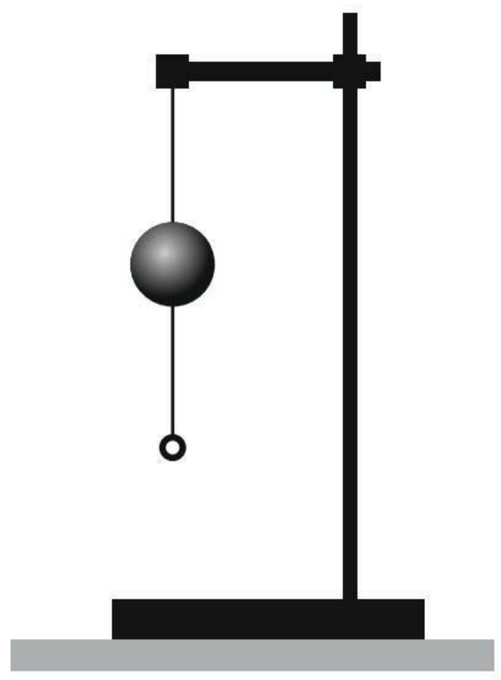
8.24. Людина, маса якої 50 кг, стоїть на гладкому льоду і кидає в горизонтальному напрямку сумку. Маса сумки 5 кг, а швидкість у момент кидання — 6 м/с. Чому дорівнює швидкість людини відразу після кидання сумки?

Високий рівень

8.25. Чому пил вибивають різкими ударами по килиму?

8.26. Спортсмен лежить на спині на арені цирку. Йому на груди кладуть масивну металеву пластину, по якій молотом б'є інший спортсмен. Чи небезпечний цей номер для спортсмена, що лежить? Свою відповідь поясніть.[1]

8.27. На нитку підвішують масивну кулю. Таку саму нитку прив'язують до кулі знизу (мал. 8.8). Якщо тягнути нижню нитку плавно, верхня нитка порветься, а якщо смикнути ривком за нижню — нижня нитка порветься. Поясніть це явище.[2]



Мал. 8.8

8.28. Стоячи на скейтбордах, двоє школярів відштовхнулися руками. Відразу після цього швидкість одного з них становить 1,5 м/с, а швидкість другого — 1 м/с. Яка маса легшого школяра, якщо маса важчого з них 60 кг?

---

[1] *Порада.* Розгляньте інертність масивної пластини.

[2] *Порада.* Розгляньте інертність масивної кулі, яка проявляється під час ривка.

§ 9. ГУСТИНА РЕЧОВИНИ

1. Яка фізична величина характеризує речовину?
2. Як виміряти густину речовини?
3. Надзвичайна властивість звичайної води.
4. Приклади розв'язання задач.

1. Яка фізична величина характеризує речовину?

Уявіть, що ви знайшли шматочок блискучого жовтого металу. Припустимо, що це самородок чистого золота.

Як це *перевірити*, якщо у вас є антикварна монета, яка, як відомо, виготовлена з чистого золота? Які *виміри* для цього потрібно зробити?

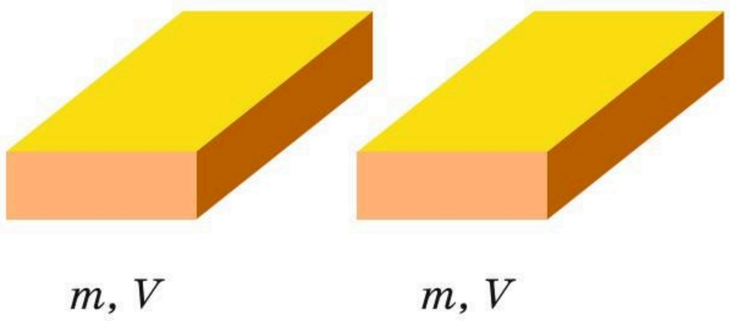
Оскільки ми припускаємо, що шматок металу і монета виготовлені з тієї самої *речовини*, виникають питання.

- Яка фізична величина характеризує *речовину*?
- Як *виміряти* цю величину?

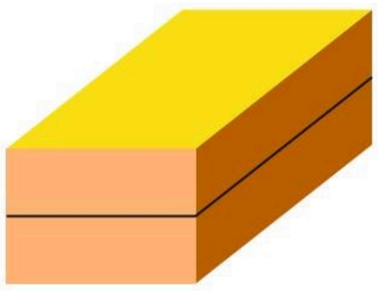
Густина речовини

Проведемо дослід

Візьмемо два однакові тіла з *тієї самої* речовини — наприклад, два бруски (мал. 9.1 а).



Мал. 9.1 а



Мал. 9.1 б

З'єднаємо ці бруски: отримаємо подвійний брусок, маса якого дорівнює $2m$, а об'єм — $2V$, що складається з *тієї самої* речовини (мал. 9.1 б).

Відзначимо тепер, що маса подвійного бруска удвічі більша за масу одного бруска, а об'єм подвійного бруска *також* у 2 рази більший за об'єм одного бруска. Тому відношення *маси до об'єму* для одинарних і подвійних брусків *однакове*. Отже, таке відношення характеризує речовину.

Відношення маси m тіла, що складається з деякої речовини, до об'єму V цього тіла називають *густиною* речовини ρ, з якої складається це тіло:

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Густину прийнято позначати грецькою буквою ρ (читають «ро»).

9.1. Доведіть, що одиницею густини СІ є $1\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Звідси випливає, що значення густини речовини в одиницях СІ чисельно дорівнює масі одного кубічного метра цієї речовини, вираженої в кілограмах.

9.2. Знайдіть густину води, знаючи, що маса одного літра води дорівнює 1 кг.[1] [2]

Радимо запам'ятати значення густини води: її потрібно знати для розв'язування задач.

Іноді використовують одиницю густини $1\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

9.3. Знайдіть відношення одиниць густини: $1\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ та $1\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.[3] [4]

9.4. Виразіть густину води в $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.[5]

Значення густини деяких речовин, у тому числі і тих, які вам знадобляться під час розв'язування задач, ви можете знайти в довідниках.

Отже, щоб перевірити, чи є описаний вище шматок металу золотом, необхідно виміряти густину цього металу і порівняти її з *густиною* золота.

---

1 *Порада.* Скористайтеся тим, що $1\ \text{м}^3 = 10^3\ \text{л}$.

2 *Відповідь.* $10^3\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

3 *Порада.* Скористайтеся тим, що $1\ \text{м}^3 = 10^6\ \text{см}^3$.

4 *Відповідь.* $1\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 10^3\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

5 *Відповідь.* $1\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

2. Як виміряти густину речовини?

9.5. Які величини, що характеризують дане тіло, необхідно виміряти, щоб знайти густину речовини, з якої складається це тіло? Як знайти густину, виходячи з цих вимірювань?[1] [2]

У наступній лабораторній роботі пропонуємо виміряти густину металу (або сплаву) і густину рідини.

Лабораторна робота № 6



Вимірювання густини речовини

Мета: визначити густину речовини твердих тіл та рідин.

Обладнання: важільні терези з набором важків, брусок у вигляді прямокутного паралелепіпеда, тіло неправильної форми з прикріпленою до нього ниткою, посудина з водою, посудина з рідиною невідомої густини, лінійка, мірний циліндр, порожня пластикова склянка.[3]

Перебіг роботи

1. За допомогою терезів і лінійки знайдіть густину речовини, з якої виготовлений брусок. Запишіть результати вимірювань і обчислень.

2. За допомогою терезів і мірного циліндра знайдіть густину речовини, з якої виготовлене тіло неправильної форми. Запишіть результати вимірювань і обчислень.

3. За допомогою терезів, мірного циліндра і порожньої склянки знайдіть густину невідомої рідини. Запишіть результати вимірювань і обчислень.

4. Зробіть висновки і запишіть їх.

3. Надзвичайна властивість звичайної води

Густина більшості речовин у твердому стані більша, ніж у рідкому. Одним з небагатьох винятків є вода: густина льоду *менша* від густини води. Тому об'єм льоду *більший, ніж* об'єм води тієї самої маси.

---

1 *Порада.* Скористайтеся означенням густини.

2 *Відповідь.* Необхідно виміряти масу і об'єм тіла, а потім знайти відношення маси до об'єму.

3 Також можна використовувати електронні ваги, калориметричний циліндр, гайку або болт.

9.6. Вода у відрі, виставленому взимку на вулицю, замерзла. Наскільки збільшився об'єм води, коли вона перетворюється на лід? Маса води становить 5 кг.[1] [2]

Ця ексклюзивність (винятковість) води має величезне значення, адже вода є найпоширенішою рідиною на Землі.

По-перше, через цю винятковість води відбувається вивітрювання скель і гір, тобто їх поступове руйнування. Вода, що потрапила в тріщини, замерзає, а оскільки лід займає більший об'єм, то поступово розширює ці тріщини. Назва «вивітрювання» пов'язана з тим, що вітер забирає дрібні частинки каменю, які утворилися в результаті руйнування.

По-друге, якщо вода замерзне в металевих водопровідних трубах або радіаторах, то утворений лід може розірвати труби або батареї. Тому, якщо взимку не використовують труби або батареї, воду з них необхідно злити до настання холодів.

По-третє, ця особливість води зберігає життя взимку в озерах і річках в тих районах, де взимку вони замерзають. Оскільки лід легший за воду, він не тоне у воді, а покриває її «крижаною шубою». Завдяки цьому сповільнюється замерзання водойм, і навіть *взимку* життя в них зберігається *біля дна*.

4. Приклади розв'язання задач

Однорідні тіла

Формула $\rho = \frac{m}{V}$ справедлива для *однорідних* тіл, тобто тіл, що складаються з однієї речовини і не містять порожнин. Використовуючи цю формулу, можна знайти будь-яку із трьох величин, що входять до неї, якщо задані дві інші.

Знайшовши густину речовини, можна сказати, *що* це за речовина, використовуючи довідкові дані.

9.7. Маса металевої деталі, об'єм якої становить 200 $см^3$, дорівнює 1,78 кг.

а) Яка густина металу, з якого виготовлена деталь?

б) З якого металу може бути виготовлена ця деталь?[1]

---

[1] *Порада.* Знайдіть об'єм води до замерзання і об'єм льоду, скориставшись означенням густини і довідковими даними.

[2] *Відповідь.* На 0,56 $дм^3$.

9.8. Самостійно складіть і розв'яжіть задачу на знаходження маси тіла, якщо відомий об'єм цього тіла, а також речовина, з якої воно виготовлене.

9.9. Самостійно складіть і розв'яжіть задачу на знаходження об'єму тіла, якщо відома маса цього тіла, а також речовина, з якої воно виготовлене.

9.10. Маса першого мідного куба дорівнює 400 г. Довжина ребра другого мідного куба в 2 рази більша, ніж у першого.

а) Яка маса другого куба?[2]

б) Які об'єми кубів?[3]

9.11. Алюмінієві і свинцеві кульки мають рівні маси. Об'єм якої кульки більший і в скільки разів?[4]

9.12. Порівняйте значення густин різних речовин, що наведені в довідкових даних. Чому густини газів у багато разів менші, ніж густини рідин і твердих тіл?[5] [6]

Тіла з порожниною і сплави

На малюнку 9.2 зображена скляна пробка з порожниною всередині.

9.13. Маса скляної пробки з порожниною становить 25 г, а її об'єм — 15 $см^3$.

а) Чому дорівнює об'єм скла, з якого виготовлена пробка?

б) Чому дорівнює об'єм порожнини в пробці?[7]



Мал. 9.2

9.14. З мідних пластин виготовили куб з порожниною. Маса куба дорівнює 153 г, а його об'єм — 27 $см^3$.

а) Чому дорівнює об'єм міді?

---

1 *Відповідь.* а) 8 900 $кг/м^3$. б) Наприклад, мідь або нікель.

2 *Порада.* а) Скористайтеся тим, що об'єм другого куба у 8 разів більший за об'єм першого куба.

3 *Відповідь.* а) 3,2 кг. б) 45 $см^3$ і 360 $см^3$.

4 *Відповідь.* Алюмінієвої, у 4,2 раза.

5 *Порада.* Згадайте, що гази легко стискаються.

6 *Відповідь.* Оскільки в рідинах і твердих тілах атоми або молекули розташовані близько одні до одних, а в газах відстані між атомами або молекулами набагато більші, ніж розмір атомів або молекул.

7 *Відповідь.* 10 $см^3$. б) 5 $см^3$.

б) Чому дорівнює об’єм порожнини в кубі?
в) Чому дорівнює довжина ребра кубічної порожнини?
г) Чому дорівнює довжина ребра порожнистого куба?
ґ) Чому дорівнює товщина пластин, з яких виготовлений порожнистий куб?[1] [2]

У завданнях на сплави зазвичай передбачено, що об’єм сплаву дорівнює сумі об’ємів металів, використаних для виготовлення сплаву.

9.15. Для виготовлення бронзи було взято 100 г міді і 30 г олова.
а) Чому дорівнює об’єм міді?
б) Чому дорівнює об’єм олова?
в) Чому дорівнює об’єм бронзи?
г) Чому дорівнює густина бронзи?[3]

Про що ми дізнались?

- Відношення маси m тіла, що складається з деякої речовини, до об’єму V цього тіла називають *густиною* ρ речовини, з якої складається це тіло: $\rho = \frac{m}{V}$. Густина характеризує речовину, з якої виготовлене дане тіло.
- Значення густини речовини в одиницях СІ чисельно дорівнює масі одного кубічного метра цієї речовини, вираженій у кілограмах.

Домашній експеримент

9.16. Знайдіть густину вершкового масла. Візьміть для цього пачку вершкового масла, виміряйте її розміри і визначте масу масла за написом на пачці.

9.17. Виміряйте «насипну» густину цукрового піску і кухонної солі.

9.18. Виміряйте густину металу (або сплаву), з якого виготовлені столові ложки або виделки. Щоб підвищити точність, візьміть для досліду набір із шести предметів.

---

[1] *Порада.* Зауважте, що довжина ребра порожнистого куба більша за довжину ребра кубічної порожнини на подвійну товщину пластин, з яких виготовлений куб.

[2] *Відповідь.* а) 19 см^3. б) 8 см^3. в) 2 см. г) 3 см. ґ) 0,5 см.

[3] *Відповідь.* а) 11,2 см^3. б) 4,1 см^3. в) 15,3 см^3. г) $8500\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 8{,}5\cdot 10^3\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

9.19. Чому густина характеризує речовину, а не тіло?

9.20. Користуючись довідковими даними, дайте відповідь на запитання:
а) Яка з табличних речовин має найбільшу густину? У скільки разів ця густина більша за густину води?
б) Яка з табличних речовин має найменшу густину? У скільки разів ця густина менша від густини води?

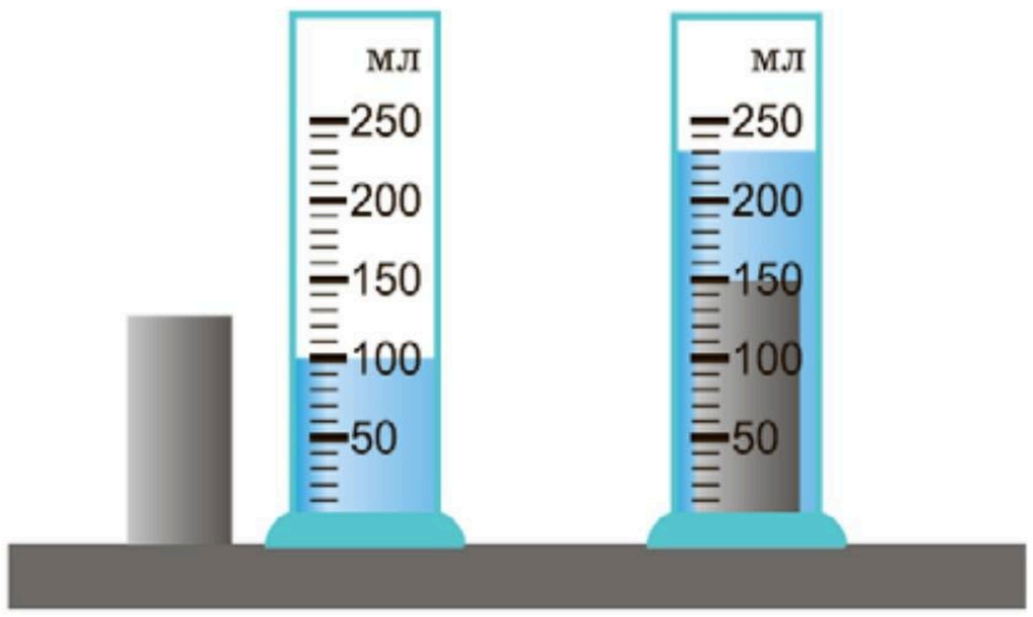
9.21. Два однакові за розмірами металеві циліндри, виготовлені з різних металів, мають рівні маси. Наведіть приклади металів, з яких могли бути виготовлені ці циліндри.

9.22. Півлітрова пляшка по вінця наповнена бензином. Яка маса бензину?

9.23. Визначте найбільший об'єм ртуті, що може бути в посудині, маса якої 1 кг, аби ви могли її підняти.

9.24. Чи може бути зливок, об'єм якого становить 2 дм^3, виготовлений із чистого золота, якщо він легший від зливка, об'єм якого 5 дм^3, з чистої міді? Свою відповідь обґрунтуйте.

9.25. За даними малюнка 9.3 знайдіть масу циліндра, якщо відомо, що він виготовлений з алюмінію.



Мал. 9.3

Достатній рівень

9.26. Маса квадратного скляного листа зі стороною 70 см становить 5 кг. Чому дорівнює товщина листа?

9.27. Є дві котушки дроту однакового діаметра: один мідний, другий алюмінієвий. Маси котушок однакові. Який дріт довший? У скільки разів?

9.28. Довжина ребра алюмінієвого куба у 2 рази більша за довжину ребра сталевого куба. Чому дорівнює маса сталевого куба, якщо маса алюмінієвого куба 500 г?

9.29. Чому дорівнює площа кімнати, якщо маса повітря в ній дорівнює вашій масі? Вважайте, що висота кімнати становить 3 м.

9.30. У чашку, наповнену по вінця соняшниковою олією, поклали мідний циліндр, маса якого дорівнює 100 г. Чому дорівнюватиме маса розлитої олії?

Високий рівень

9.31. Коли соняшниковою олією дощенту наповнили порожню півлітрову банку, маса повної банки дорівнювала 735 г.

а) Якою буде маса тієї самої банки, якщо замінити олію на спирт?

б) Чому дорівнює маса порожньої банки?

9.32. Об'єми золотої та мідної кульок рівні, а маса однієї з кульок на 20 г більша за масу другої.

а) Чому дорівнює об'єм кожної кульки?

б) Чому дорівнює маса кожної кульки?[1]

9.33. Для виготовлення сплаву було взято свинець і нікель, до того ж об'єм нікелю удвічі більший за об'єм свинцю. Чому дорівнює густина сплаву?

9.34. Є дві герметичні, наповнені дощенту, однакові літрові пляшки. В одній з них є олива, а в другій — невідома рідина. Як виміряти густину цієї рідини, якщо пляшки не можна відкоркувати? Стисло опишіть алгоритм і зробіть розрахунки. Необхідні дані виберіть на власний розсуд (запишіть їх).

---

[1] *Порада.* Складіть рівняння, щоб знайти об'єм кульок.

§ 10. ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. СИЛИ В МЕХАНІЦІ

1. Як швидкість тіла може змінюватися під дією іншого тіла?
2. Взаємодія тіл і сили.
3. Сили в механіці.
4. Як змінюється швидкість тіла, на яке діє одна сила.
5. Одиниця сили.

1. Як швидкість тіла може змінюватися під дією іншого тіла?

Явище інерції вказує на те, що швидкість тіла може змінюватися тільки завдяки дії на це тіло *інших* тіл.

Як може змінюватися швидкість тіла в цьому випадку?

Проведемо дослід

Покладемо м'яч на землю. Вдаривши по цьому м'ячу, можна *збільшити* його швидкість (мал. 10.1).



Мал. 10.1



Мал. 10.2



Мал. 10.3

Рухомий м'яч можна уповільнити і навіть зупинити (мал. 10.2).

Також змінити можна лише напрямок швидкості (мал. 10.3).

Отже, ми бачимо, що дія іншого тіла може змінювати *модуль* швидкості (збільшувати або зменшувати), а також напрямок швидкості даного тіла.

10.1. Наведіть свої приклади, коли під дією іншого тіла швидкість даного тіла:
а) збільшується;
б) зменшується;
в) змінює напрямок.

2. Взаємодія тіл і сили

Експерименти свідчать, що тіла завжди діють *одне на одне*, тобто дія одного тіла на друге є проявом *взаємодії* тіл.

Наприклад, коли ви б'єте ногою по м'ячу, то відчуваєте, що м'яч б'є вас по нозі.

Взаємодію між тілами описують за допомогою поняття *сил*: кажуть, що кожне із двох тіл, які взаємодіють, діє на друге тіло з певною силою.

Наприклад, на малюнку 10.4 схематично зображені сили $\vec{F}_1$ і $\vec{F}_2$, що діють між ногою гравця і м'ячем під час удару по м'ячу: сила $\vec{F}_1$ діє з боку стопи на м'яч, а сила $\vec{F}_2$ діє з боку м'яча на стопу.



Мал. 10.4

Кожну силу характеризують *числовим значенням* (модулем) і *напрямком*, тобто сила є векторною величиною. Тому сили, як і всі векторні величини, позначають буквами зі стрілками над ними.

Нижче ми розглянемо *одиниці* сили.

Кожну силу характеризують точкою прикладання сили. На рисунках сили позначають стрілками: початок стрілки збігається з точкою прикладання сили, напрямок стрілки вказує напрямок сили, а довжина стрілки пропорційна до модуля сили.

Оскільки кожна сила є проявом *взаємодії* між тілами, то, описуючи сили або розв'язуючи задачі, у яких розглядають сили, необхідно вказувати:

- з боку якого тіла діє ця сила,
- на яке тіло діє ця сила.

Ви, напевно, помітили, що на малюнку 10.4 сили $\vec{F}_1$ і $\vec{F}_2$, які діють з боку стопи на м'яч і з боку м'яча на стопу, *рівні за модулем і протилежні за напрямком*.

Це не випадково: досвід свідчить, що тіла *завжди* взаємодіють із силами, рівними за модулем і протилежними за напрямком.

До того ж є ще одна дуже важлива характеристика сили, про яку ми зараз поговоримо: *це фізична природа сили*.

3. Сили в механіці

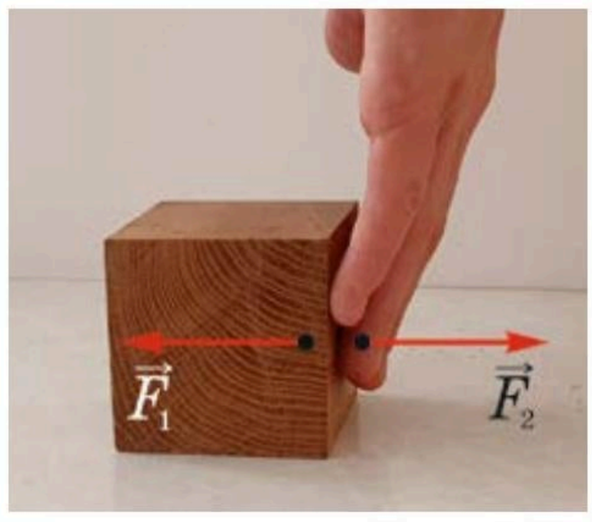
Механічні явища можна описати *за допомогою трьох видів* сил: сили *пружності*, сил *тертя* і сил *тяжіння*.

У цьому параграфі на прикладах стисло розглянемо кожну з цих сил. У наступних параграфах ми розглянемо кожну з них детальніше.

Сили пружності

Проведемо дослід

Штовхніть брусок, що лежить на столі (мал. 10.5). Під час поштовху ваша рука тисне на брусок: ця сила є окремим випадком сили пружності. При цьому брусок також тисне на руку — це теж сила пружності.

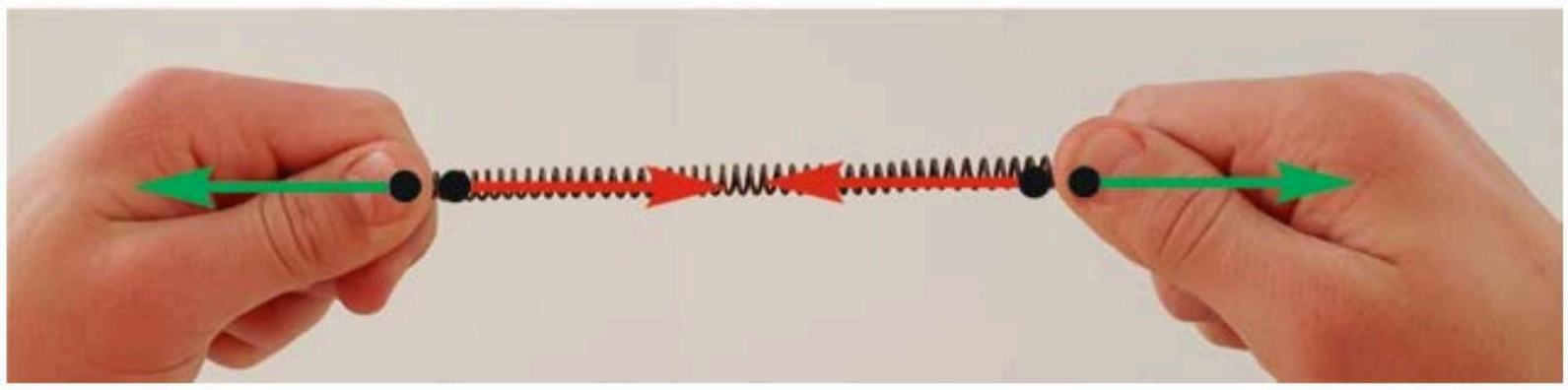


Мал. 10.5

Найважливіша властивість сил пружності полягає в тому, що ці сили завжди супроводжуються деформацією тіл, які взаємодіють, тобто зміною їх форми і/або розмірів. Однак ця деформація часто настільки мала, що непомітна для ока — як, наприклад, у розглянутому вище експерименті: ви, напевно, не помітили ні деформації бруска, ні *деформації* кисті.

Проведемо дослід

Якщо розтягнути пружину обома руками, її довжина *збільшиться*, тобто пружина помітно деформується. При цьому на кожну руку з боку пружини діє сила пружності і на пружину з боку кожної руки теж діє сила пружності (мал. 10.6).


Мал. 10.6

Усі *чотири* сили пружності в цьому експерименті (дві діють з боку пружини на руки, і ще дві збоку рук на пружину) рівні за модулем. Чому ж добре видно тільки деформацію пружини?

Пружини спеціально виготовляють так, щоб їх деформація була помітною навіть тоді, коли сила пружності не надто велика — саме з цією метою пружинам часто надають форми спіралі. Завдяки цій особливості пружини використовують для вивчення властивостей сил пружності.

10.2. Наведіть свої приклади дії сил пружності, коли деформація тіл, які взаємодіють:

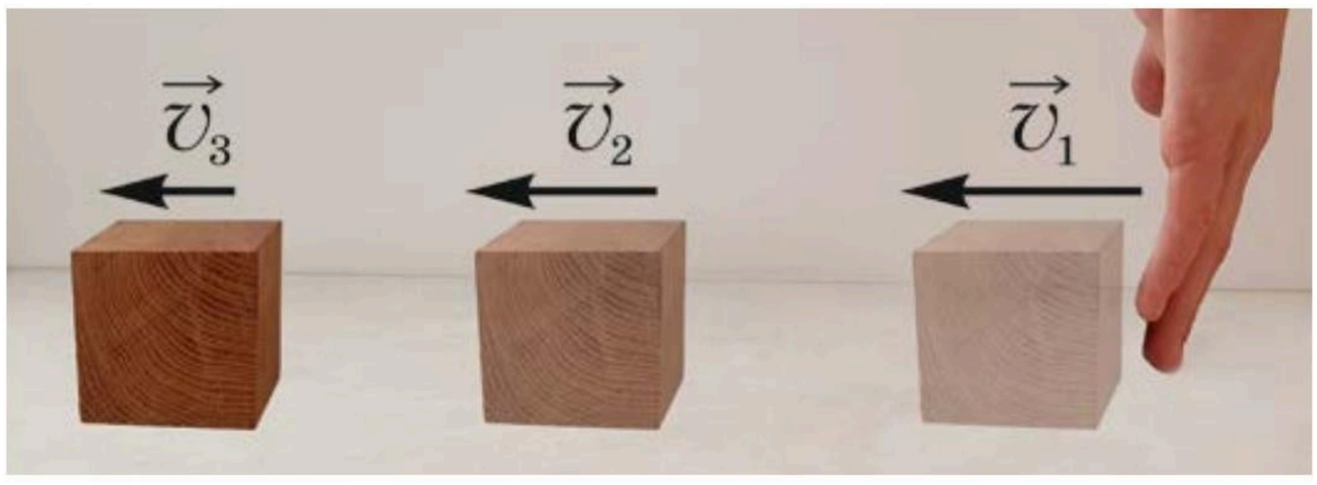
а) майже непомітна,

б) добре помітна.

Сили тертя

Проведемо дослід

Коли після поштовху брусок ковзає по столу, його швидкість *зменшується* (мал. 10.7).



Мал. 10.7

Оскільки швидкість тіла змінюється (в даному випадку зменшується), значить, на тіло діє *сила* (або *сили*) з боку інших тіл. У нашому прикладі зменшення швидкості бруска відбувається внаслідок дії *на нього сили тертя ковзання* з боку стола.

Звичайно, сила тертя ковзання також діє на стіл з боку бруска, який ковзає. Однак її вплив на стіл залишається непомітним через велику масу столу, а також через взаємодію столу з підлогою (через силу тертя *спокою*, яку ми розглянемо далі).

10.3. Наведіть свої приклади дії сил тертя ковзання.

Сили всесвітнього тяжіння. Взаємодія тіл Сонячної системи

Сили пружності і сили тертя діють за *безпосереднього контакту* взаємодіючих тіл.

Третій тип сил, які вивчають у механіці, — сили тяжіння. Сили тяжіння діють між тілами, що можуть перебувати *на відстані* одне від одного.

Проведемо дослід

Якщо відпустити м'яч, він почне *падати*. Швидкість м'яча *збільшується* під час його падіння, а значить, на нього діє якась сила (мал. 10.8). Що це за сила і з боку якого тіла діє?



Мал. 10.8

На м'яч діє тяжіння Землі. Ця сила — окремий випадок сили всесвітнього тяжіння, що діють між *будь-якими* тілами (ці сили називають *гравітаційними* силами від грецького слова «gravitas», що означає *тягар*).

Між будь-якими двома тілами діють гравітаційні сили притягання, але вони стають помітними тільки тоді, коли хоча б одне з тіл, що взаємодіють, має величезну масу — наприклад, є *планетою* або *зорею*.

10.4. З боку м'яча, що падає на Землю, діє така сама сила тяжіння, як і з боку Землі на м'яч. Чому вплив тяжіння на м'яч помітний, а на Землю непомітний?[1]

Сили тяжіння діють на величезних відстанях: саме ці сили утримують Землю та інші планети Сонячної системи на орбіті навколо Сонця, а Місяць на орбіті навколо Землі. Що було б, якби ці сили зникли в один (зовсім не чудовий) момент? Місяць полетів би від Землі, рухаючись за інерцією по прямій і рівномірно — як камінь, що вилітає із пращі, і Земля так само полетіла б від Сонця в безкрайній простір. На Землі панувала б вічна ніч, до того ж безмісячна. На щастя, цього ніколи не станеться, адже сили тяжіння діятимуть завжди!

---

[1] *Відповідь*. Тому що маса Землі набагато перевищує масу м'яча.

10.5. Чи правильно, що коли тіло перебуває в стані спокою, значить, на нього не діють інші тіла? Наведіть приклад, який підтверджує вашу відповідь.[1] [2]

З якими силами взаємодіють тіла одне з одним?

Ми вже говорили про те, що за будь-якої взаємодії двох тіл беруть участь дві сили, за допомогою яких тіла діють *одне на одне*. У наведених вище прикладах ви, можливо, помітили, що ці дві сили завжди *мають однакову фізичну природу*.

10.6. Наведіть приклади двох тіл, що взаємодіють через:
а) сили пружності, б) сили тертя, в) сили тяжіння.

4. Як змінюється швидкість тіла, на яке діє одна сила?

Почнемо з випадку, коли на тіло діє тільки *одна* сила.

10.7. Яка сила завжди діє на тіло біля Землі?[3]

Вивчимо на досліді рух тіла, на яке діє тільки сила тяжіння.[4]

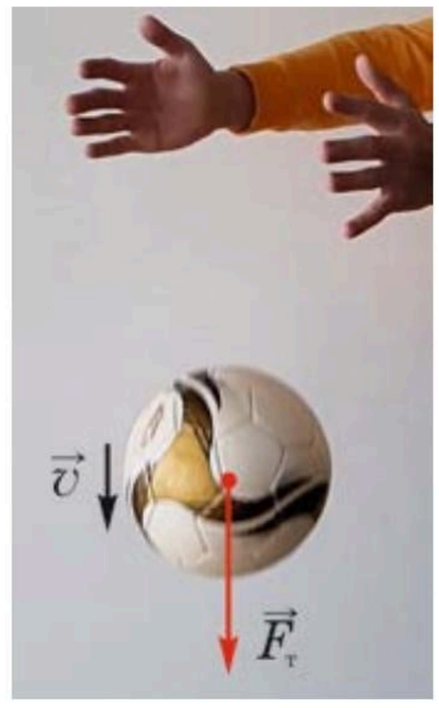
Проведемо дослід

Візьмемо м'яч до рук і відпустимо його (мал. 10.9).

Ми побачимо, що він починає рухатися *вниз*, а швидкість його збільшується. Зазначимо, що в цьому випадку сила тяжіння, що діє на м'яч, теж напрямлена *вниз*.

Цей дослід породжує *припущення*, що коли на тіло діє одна сила, швидкість тіла напрямлена так *само*, як і ця сила, і швидкість тіла *збільшується*.

Зауважте, однак, що ми досі розглядали лише той випадок, коли початкова швидкість тіла дорівнює нулю. А як рухатиметься під дією тієї самої сили тіло, що має певну початкову швидкість?



Мал. 10.9

---

[1] *Порада.* Розгляньте книжку, що лежить на столі, або стіл, який стоїть на підлозі.

[2] *Відповідь.* Тіло може перебувати в спокої, якщо сили, що діють на нього, *зрівноважують* одна одну.

[3] *Відповідь.* Сила тяжіння.

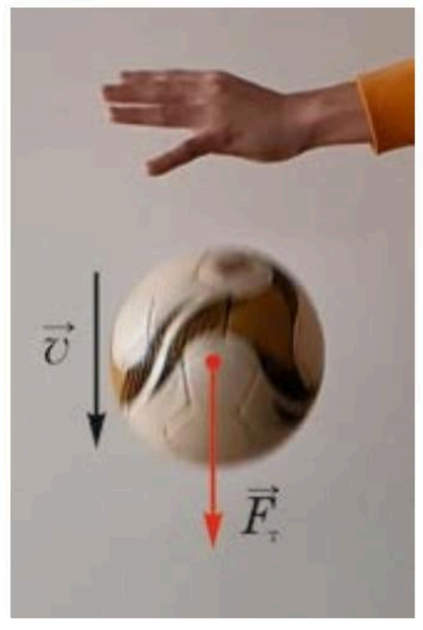
[4] Якщо швидкість тіла незначна, силою опору повітря можна знехтувати.

Чи має значення напрямок початкової швидкості? Щоб відповісти на ці запитання, проведемо нові експерименти.

Проведемо дослід

Кинемо м'яч *униз* (рис. 10.10).

Ми побачимо, що після кидання він продовжує рухатися *вниз*, у напрямку сили тяжіння. І швидкість його теж збільшується.



Мал. 10.10

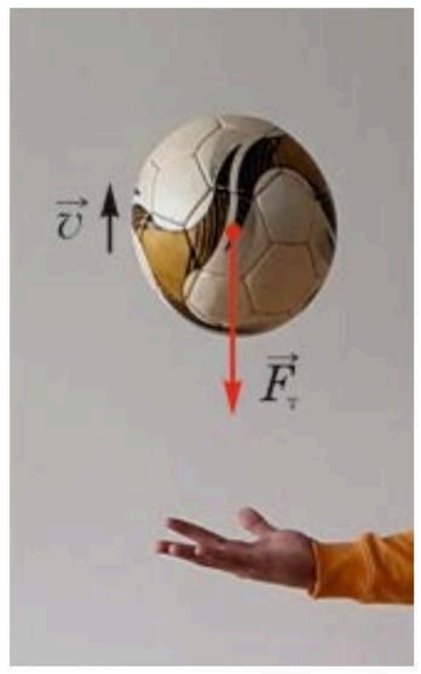
Цей експеримент, здавалося б, підтверджує припущення про те, що напрямок швидкості тіла *збігається* з напрямком сили, що діє на тіло, і швидкість тіла збільшується.

Однак ми розглянули поки лише випадки, коли початкова швидкість тіла або дорівнює нулю, або напрямлена так само, як і сила, що діє на це тіло. Продовжимо наші експерименти, вибравши інший напрямок початкової швидкості.

Проведемо дослід

Тепер підкинемо м'яч *угору* (мал. 10.11).

Після кидання він деякий час летить *угору* — при цьому його швидкість напрямлена *протилежно* до сили тяжіння, що діє на м'яч! Однак тепер швидкість м'яча не збільшується, а зменшується.



Мал. 10.11

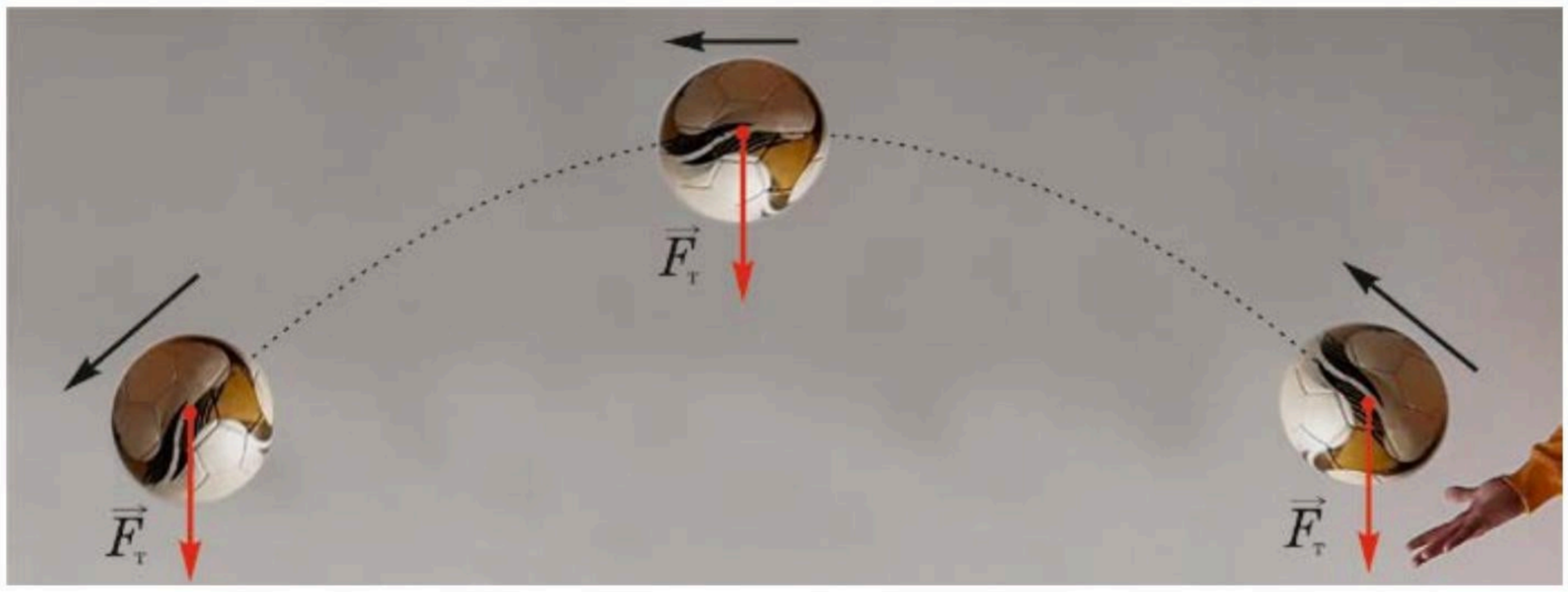
Цей дослід показує, що швидкість тіла може бути напрямлена протилежно силі, що діє на тіло.

Зауважте, досі ми розглянули випадки, за яких початкова швидкість тіла напрямлена або *так само*, як сила, що діє на тіло, або у бік, *протилежний* до напрямку сили.

А як рухатиметься тіло, якщо його початкова швидкість напрямлена *під кутом* до напрямку сили?

Проведемо дослід

Киньте м'яч під кутом до горизонту (мал. 10.12).



Мал. 10.12

Після кидання він рухається по *криволінійній* траєкторії. А це означає, що *змінюється напрямок* швидкості.

Підсумуємо висновки з наших експериментів:

- якщо початкова швидкість тіла *дорівнює нулю* або *збігається* за напрямком із силою, що діє на тіло, то швидкість тіла *збільшується*;
- якщо початкова швидкість тіла напрямлена *протилежно до сили*, що діє на тіло, то швидкість тіла *зменшується*;
- якщо початкова швидкість тіла напрямлена *під кутом* до сили, що діє на тіло, то *змінюється напрямок* швидкості тіла (модуль швидкості тіла також може змінюватися).

У курсі фізики 9 класу ми точніше визначимо, як змінюється швидкість тіла внаслідок дії на нього сили.

10.8. Багато хто помилково вважає, що напрямок швидкості тіла завжди збігається з напрямком сили, що діє на тіло. Чим пояснити таку помилку?[1]

5. Одиниця сили

Одиниця сили в СІ отримала назву «ньютон» на честь англійського вченого Ісаака Ньютона, її позначають *великою* літерою Н. Зверніть увагу: назви фізичних величин, названих на честь учених, пишуть з *малої* літери, а їхнє позначення пишуть з великої літери.

Означення одиниці сили «ньютон» буде подане в курсі фізики 9 класу.

---

[1] *Відповідь.* Дія сили на тіло помітніша, коли тіло, яке перебуває в *спокої*, починає рухатися під дією сили. У такому випадку напрямок швидкості тіла дійсно збігається з напрямком сили.

Сила 1 Н незначна за «людськими» мірками: наприклад, якщо покласти в долоню літровий пакет соку або молока, він тиснутиме на долоню із силою, що приблизно дорівнює 10 Н (мал. 10.13).



Мал. 10.13

Кожен з вас може легко прикласти силу, що дорівнює 100 Н. Людина, маса якої становить 50 кг, тисне на підлогу або ґрунт із силою, що дорівнює 500 Н.

У наступному параграфі ви дізнаєтеся, як вимірюють сили.

Про що ми дізнались?

- Тіла завжди діють одне на одного, тобто дія одного тіла на друге є проявом *взаємодії* тіл.
- Взаємодію між тілами описують за допомогою поняття *сил*: кажуть, що кожне із двох тіл, які взаємодіють, діє на друге тіло з певною силою.
- Кожну силу характеризують *числовим значенням* (модулем) і *напрямком*, тобто сила є векторною величиною.
- Кожну силу характеризують *точкою прикладання сили*.
- Механічні явища можна описати *за допомогою трьох видів* сил: сил пружності, сил тертя і сил тяжіння.
- Під дією сили змінюється швидкість тіла: за модулем і/або напрямком.
- Одиницею сили в СІ є ньютон.

Домашній експеримент

10.9. Поспостерігайте, як змінюється швидкість тіла під дією інших тіл. Проведіть досліди, у яких швидкість цього тіла: збільшується за модулем; зменшується за модулем; змінює свій напрямок. Опишіть сили, які діяли на це тіло у ваших дослідах.

Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

10.10. Наведіть свої приклади дії кожного з трьох видів сил, які вивчають у механіці.

10.11. Поясніть, що означає твердження: «сила — це векторна величина». Наведіть приклади, щоб проілюструвати свою відповідь.

10.12. Яка одиниця сили в СІ? Наведіть приклад сили 30 Н.

10.14. Наведіть приклади, коли напрямок швидкості тіла в даний момент:
а) збігається з напрямком сили, що діє на тіло;
б) протилежний до напрямку сили, що діє на тіло;
в) утворює певний кут з напрямком сили.

Достатній рівень

10.15. Які сили діють на вас зараз? Чи зрівноважують ці сили одна одну? Зробіть рисунок, що пояснює вашу відповідь.

10.16. З якою силою людина, маса якої 50 кг, притягує Землю?

10.17. Наведіть свої приклади, коли під дією сили пружності:
а) збільшується швидкість тіла,
б) зменшується швидкість тіла,
в) змінюється напрямок швидкості тіла.

Високий рівень

10.18. Трактор рівномірно прямолінійно рухається по горизонтальній дорозі й тягне сани із дровами. Зобразіть всі сили, які діють на сани. Яка фізична природа цих сил? З боку яких тіл вони діють? Які сили зрівноважують одна одну?

§ 11. СИЛА ПРУЖНОСТІ. РІВНОДІЙНА. ДОДАВАННЯ СИЛ

1. Сила пружності.
2. Закон Гука.
3. Вимірювання сили.
4. Рівнодійна. Додавання сил.

1. Сила пружності

Ви вже знаєте, що *сили пружності пов'язані з деформацією тіл*, тобто зміною їхніх розмірів і/або форми. Однак така деформація не завжди помітна. Розглянемо приклад.

11.1. Рукою розтягують пружину, яка другим кінцем прикріплена до міцного стрижня (мал. 11.1).

а) Перенесіть малюнок до зошита і зобразіть на ньому сили пружності, що діють на пружину і на руку.

б) Деформована лише пружина чи рука теж деформована?

в) Чи діє сила пружності: на стрижень; з боку стрижня?

г) Чи деформований стрижень?[1] [2]



Мал. 11.1

Чому виникає сила пружності?

Коли тіло деформується, відстані між його частинками (атомами або молекулами) змінюються. У результаті змінюються сили взаємодії між частинками. Це призводить до появи сил пружності з боку деформованого тіла.

---

[1] *Порада.* Врахуйте, що тіла взаємодіють із силами, які рівні за модулем і протилежні за напрямком.

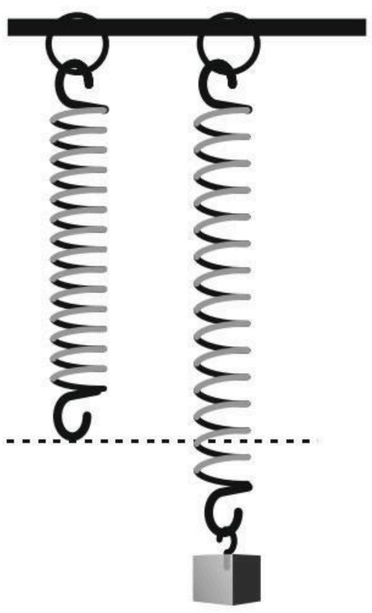
[2] *Відповідь.* б) Рука теж деформована, хоча її деформація менш помітна, ніж деформація пружини. в) На стрижень діє сила пружності з боку пружини, а на пружину діє сила пружності з боку стрижня. г) Стрижень деформується, хоча його деформація практично непомітна.

2. Закон Гука

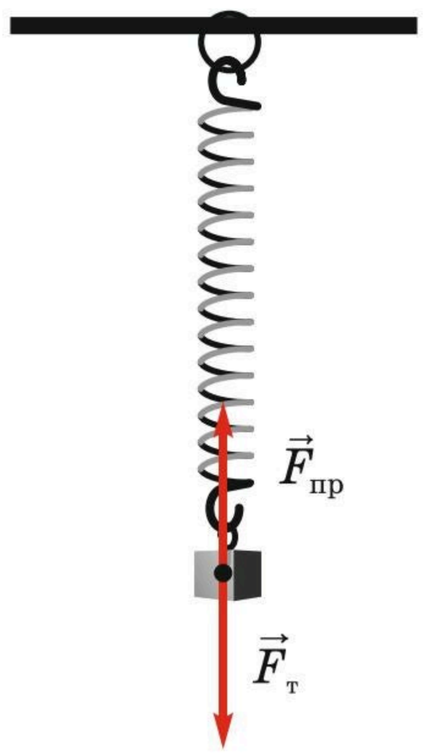
Щоб *кількісно* вивчити взаємозв'язок між силою пружності і деформацією, поставимо експеримент: *вимірямо*, *як* змінюється деформація пружини зі збільшенням сили пружності.

Проведемо дослід

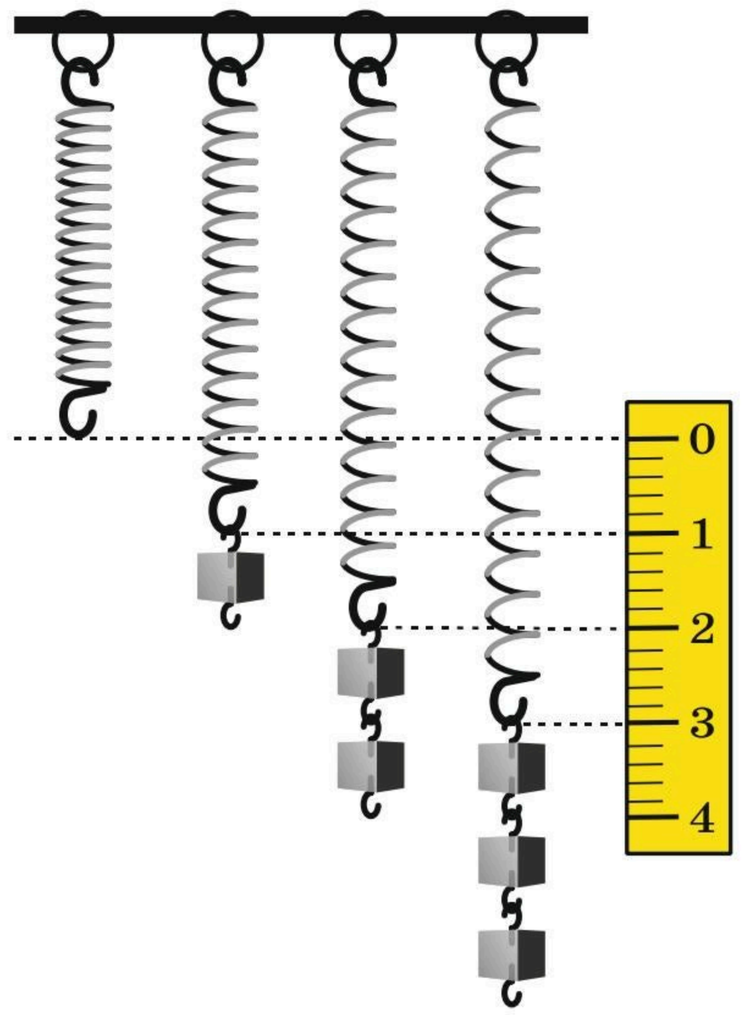
Підвісьте тягарець до пружини — пружина *розтягнеться* (мал. 11.2).



Мал. 11.2



Мал. 11.3



Мал. 11.4

Якщо тягарець, підвішений до пружини, перебуває у спокої, сила пружності, що діє на нього з боку розтягнутої пружини, зрівноважує силу тяжіння: це означає, що ці сили *рівні за модулем* (мал. 11.3).

Підвішуючи однакові тягарці до *легкої* пружини (масою якої можна знехтувати, порівняно з масою тягарців), помічаємо, що під час підвішування чергового тягарця довжина пружини збільшується на *таку саму величину* (мал. 11.4).

Позначимо довжину недеформованої пружини l_0, а довжину розтягнутої пружини позначимо l. *Видовженням* пружини називають величину $x = l - l_0$.

Наш дослід свідчить: якщо масою самої пружини можна знехтувати, то

сила пружності пружини пропорційна її видовженню:

$$F = kx .$$

Це співвідношення називають *законом* Гука на честь англійського вченого Роберта Гука.

Коефіцієнт пропорційності k в законі Гука називають *жорсткістю* пружини. Вона залежить від форми і розміру пружини, а також від матеріалу, з якого вона виготовлена.

11.2. Використовуючи закон Гука, доведіть, що одиницею жорсткості СІ є $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$.

11.3. При розтягуванні пружини із силою 10 Н видовження пружини становить 2 см.

а) Яким буде видовження цієї пружини, якщо її розтягнути силою 40 Н?

б) Яку силу слід прикласти, розтягуючи цю пружину, щоб її видовження дорівнювало 0,5 см?[1]

11.4. Жорсткість пружини становить 100 $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$.

а) З якою силою слід розтягнути пружину, щоб її видовження дорівнювало 3 см?

б) Яким буде видовження пружини, якщо її розтягнути із силою 7 Н?[2]

11.5. Коли з деякою силою розтягують першу пружину, її видовження становить 4 см, а коли з такою самою силою розтягують другу пружину, її видовження становить 8 см. У якої пружини більша жорсткість? У скільки разів?[3]

11.6. Жорсткість першої пружини в 3 рази більша, ніж другої. Для деякого видовження першої пружини потрібно прикласти силу 12 Н. Яку силу необхідно прикласти до другої пружини, щоб її видовження стало таким, як у першої пружини?[4]

Графік залежності сили пружності від видовження пружини

Оскільки сила пружності $F_{\text{пр}}$ прямо пропорційна видовженню пружини x, графіком залежності $F(x)$ *є відрізок прямої*, один кінець якого збігається з початком координат.

---

1 *Відповідь.* а) 8 см. б) 2,5 Н.

2 *Відповідь.* а) 3 Н. б) 7 см.

3 *Відповідь.* Першої; у 2 рази.

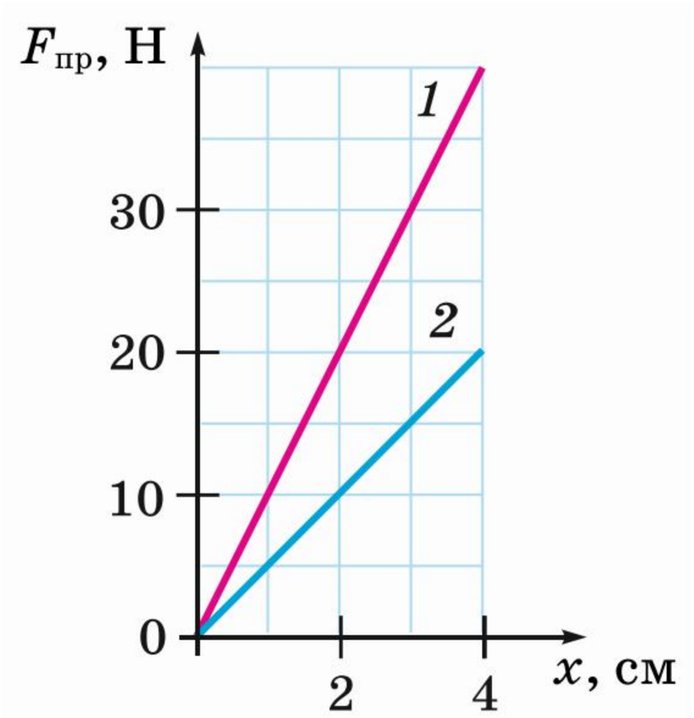
4 *Відповідь.* 4 Н.

11.7. На малюнку 11.5 зображені графіки залежності сили пружності від видовження для двох пружин.

а) Жорсткість якої пружини (1 чи 2) більша?

б) У скільки разів жорсткість однієї пружини більша, ніж другої?

в) Чому дорівнює жорсткість кожної пружини?



Мал. 11.5

11.8. Побудуйте на одному кресленні (в одній системі координат) графіки залежності $F_{пр}(x)$ для двох пружин, якщо відомо, що жорсткість першої пружини у 3 рази менша від жорсткості другої пружини. Запишіть поруч з рисунком (графіками), чому дорівнює жорсткість кожної пружини.

11.9. Побудуйте на одному кресленні (в одній системі координат) графіки залежності $F_{пр}(x)$ для двох пружин, якщо відомо, що жорсткість першої пружини на 200 Н/м більша за жорсткість другої пружини. Запишіть поруч з рисунком (графіками), чому дорівнює жорсткість кожної пружини.

Пружна і непружна деформації

Проведемо дослід

Якщо пружину злегка розтягнути, а потім відпустити, то довжина пружини стане початковою. Деформацію, яка зникає після дії сили, називають *пружною*.

Якщо пружину розтягнути занадто сильно, її довжина буде більшою за початкову після того, як пружину відпустити. Деформацію, яка залишається після припинення дії сили, називають *непружною*.

Чи буде деформація пружною або непружною, залежить не лише від величини деформації, але й від *матеріалу*, з якого виготовлене тіло. Наприклад, якщо злегка зігнути сталевий дріт, він випрямляється, коли ми його відпустимо. А мідний дріт у тому самому експерименті залишиться зігнутим.

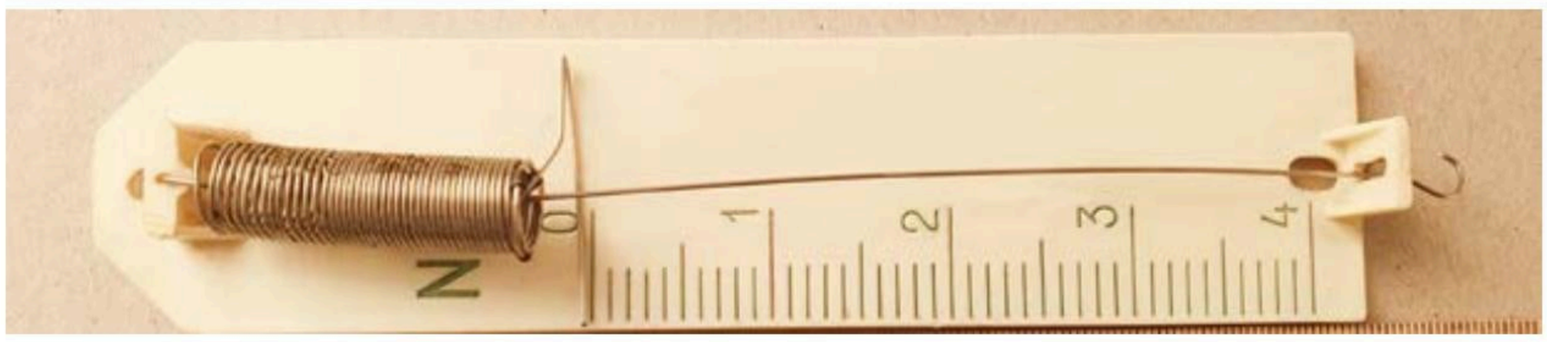
Зауважте, що *закон Гука справедливий лише для пружних деформацій*.

3. Вимірювання сили

Нагадаємо, що *виміряти* фізичну величину означає встановити, у скільки разів вона більша (або менша) за одиницю цієї величини. Так, щоб виміряти силу, необхідно встановити, у скільки разів ця сила більша (або менша) від одного ньютона.

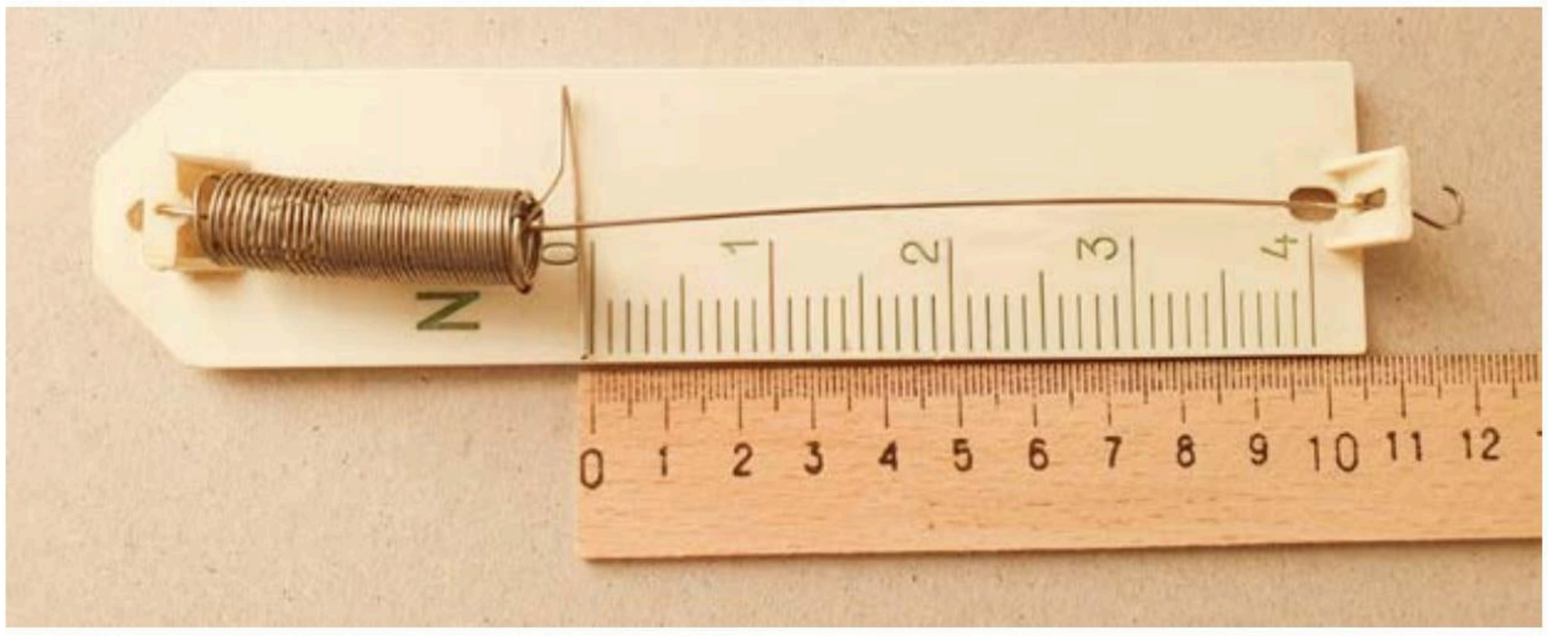
Зробити це можна за допомогою закону Гука. Для цього достатньо знайти, у скільки разів видовження пружини під час розтягування на задану силу більше (або менше), ніж її видовження під дією сили 1 Н.

Якщо під пружиною розмістити шкалу, проградуйовану в ньютонах, то вийде *динамометр* — прилад для вимірювання сил. На малюнку 11.6 зображений шкільний динамометр.



Мал. 11.6

11.10. Чому дорівнює жорсткість пружини динамометра, зображеного на малюнку 11.7?[1] [2]



Мал. 11.7

11.11. Шкалою саморобного динамометра є лінійка з міліметровими поділками. Яка жорсткість пружини динамометра, якщо ціна поділки шкали приладу 0,1 Н?[3]

---

[1] *Порада.* Можна використовувати, наприклад, те, що під час розтягування із силою 2 Н видовження пружини становить 5 см.

[2] *Відповідь.* 40 Н/м.

[3] *Відповідь.* 100 Н/м.

11.12. Ціна поділки шкали динамометра становить 0,1 Н. Під дією сили 4 Н видовження пружини становить 8 мм. Чому дорівнює відстань між сусідніми позначками на шкалі?[1]

У наступній лабораторній роботі запропоновано досліджувати пружні властивості тіл.

Лабораторна робота № 7

Дослідження та застосування пружних властивостей тіл

Мета: *виміряти* пружні властивості різних тіл, побудувати пружинні терези і виміряти за їх допомогою масу пропонованого тіла.

Обладнання: штатив з муфтою і лапкою, динамометр із закритою шкалою, тягарці відомої маси, лінійка, тіло невідомої маси, шматки сталевого і мідного дроту.[2]

Перебіг роботи

1. Порівняйте пружні властивості запропонованого вам сталевого і мідного дроту. Коротко опишіть, які відмінності ви помітили.

2. За допомогою динамометра із закритою шкалою і лінійки виміряйте жорсткість пружини. Запишіть результати вимірювань і обчислень.

3. Використовуючи тіло відомої маси і закон Гука, відкалібруйте шкалу пружинних терезів.

4. Виміряйте масу запропонованого тіла. Запишіть результати вимірювань і обчислень.

5. Зробіть висновки і запишіть їх.

4. Рівнодійна. Додавання сил

Зазвичай на тіло одночасно діють кілька сил. Виникає питання: чи можна замінити їх *єдиною силою*, яка давала б *такий самий* результат?

Експерименти показують, що в тих випадках, коли тіло можна вважати матеріальною точкою, це можливо.

---

1 *Відповідь*. 2 мм.

2 Можна використати вантажі, маса яких 100 г, калориметричний циліндр, гайку або болт.

Силу, дія якої на тіло така сама, як дія кількох сил, *називають рівнодійною* цих сил.

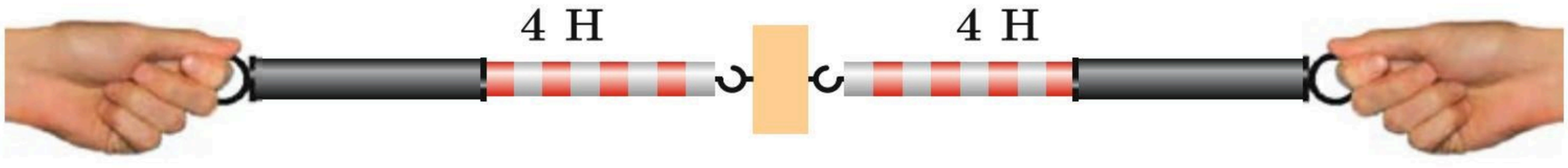
Знаходження рівнодійної кількох сил називають *додаванням* цих сил.

У цьому навчальному році обмежимося додаванням сил, напрямлених уздовж однієї прямої для випадків, коли тіло можна вважати матеріальною точкою.

Проведемо дослід

Поставимо брусок на гладкий горизонтальний стіл (у цьому випадку тертям між бруском і поверхнею столу можна знехтувати).

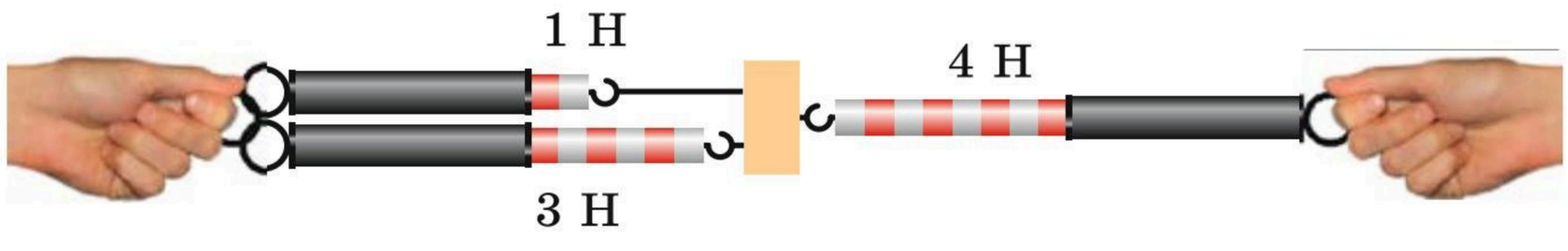
Тепер потягнемо брусок праворуч за допомогою одного динамометра, а ліворуч за допомогою другого (мал. 11.8), щоб брусок залишався в стані спокою.



Мал. 11.8

Ми побачимо, що дві сили *зрівноважують* одна одну, якщо вони *протилежно напрямлені* і *рівні за модулем*. У таких випадках рівнодійна цих сил (або їх сума) дорівнює *нулю*.

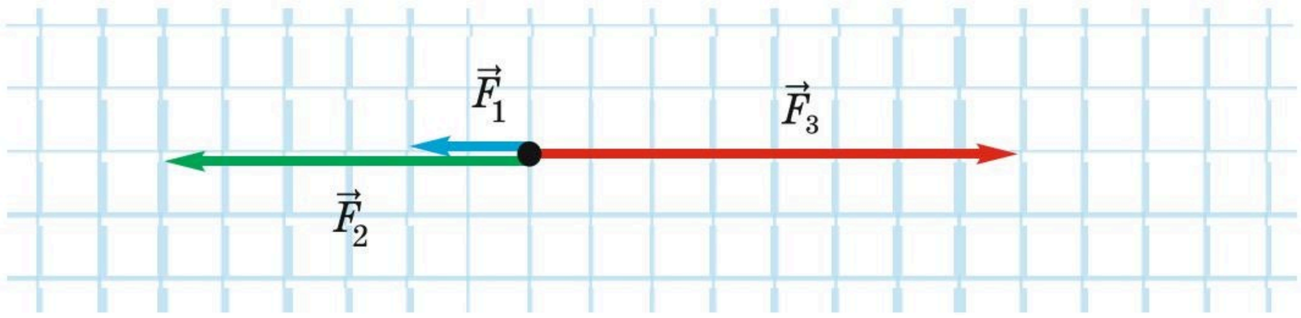
У наступному експерименті ми будемо тягнути брусок праворуч за допомогою одного динамометра, а ліворуч — за допомогою двох динамометрів (мал. 11.9), але також так, щоб брусок перебував у стані спокою.



Мал. 11.9

При цьому дві сили, напрямлені ліворуч, зрівноважують одну силу, напрямлену праворуч. Значить ці *дві сили, напрямлені в один бік*, можуть бути замінені *однією* силою — їх *рівнодійною*.

Схема нашого досліду зображена на малюнку 11.10.



Мал. 11.10

Цей та подібні експерименти свідчать про те, що

рівнодійна двох сил, напрямлених однаково, напрямлена так само, як і ці сили, а модуль рівнодійної дорівнює сумі модулів цих сил.

У цьому прикладі $F_3 = F_1 + F_2$.

Наш дослід також дозволяє знаходити рівнодійну сил, напрямлених *протилежно*. Наприклад, сила $\vec{F}_1$ зрівноважує рівнодійну сил $\vec{F}_2$ і $\vec{F}_3$, напрямлених у протилежні боки. Ми бачимо, що

рівнодійна двох протилежно напрямлених сил напрямлена так само, як і більша з цих сил, а модуль рівнодійної дорівнює різниці модулів більшої та меншої сил.

У цьому прикладі $F_1 = F_3 - F_2$.

11.13. Сили, модулі яких дорівнюють 1 Н та 2 Н, напрямлені уздовж однієї прямої. Чи може модуль їх рівнодійної дорівнювати: а) нулю; б) 1 Н; в) 2 Н; г) 3 Н?

11.14. Сили, модулі яких дорівнюють 3 Н та 2 Н, напрямлені уздовж однієї прямої. Чому може дорівнювати модуль їхньої рівнодійної? Проілюструйте свою відповідь рисунками.

Про що ми дізнались?

- *Сили пружності пов'язані з деформацією тіл*, тобто зміною їхніх розмірів і/або форми.
- Закон Гука. Сила пружності пружини пропорційна її видовженню: $F = kx$. Коефіцієнт пропорційності k в законі Гука називають *жорсткістю* пружини.

- Графіком залежності сили пружності від деформації є відрізок прямої, один кінець якого збігається з початком координат.
- Деформацію, яка зникає після дії сили, називають *пружною*.
- Деформацію, яка залишається після припинення дії сили, називають *непружною*.
- Закон Гука справедливий лише для пружних деформацій.
- Сили вимірюють динамометром.
- Силу, яка чинить таку саму дію на тіло, як і кілька сил, називають *рівнодійною* цих сил.
- Рівнодійна двох сил, напрямлених однаково, напрямлена так само, як і ці сили, а модуль рівнодійної дорівнює сумі модулів цих сил.
- Рівнодійна двох нерівних за модулем сил, напрямлених протилежно, напрямлена так само, як і більша з цих сил, а модуль рівнодійної дорівнює різниці модулів більшої та меншої сил.

Домашній експеримент

11.15. Виготовте динамометр самостійно. Замість пружини можна використовувати резинку. Як вантаж відомої маси можна використати, наприклад, пачку масла.

11.16. Виготовленим динамометром виміряйте вагу якогось тіла (для зручності вимірювань можна покласти це тіло в легкий поліетиленовий пакет).

Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

11.17. Запишіть формулу закону Гука. Дайте означення всіх фізичних величин, які входять до цієї формули. Складіть задачу на знаходження сили пружності, яку розв'язують за допомогою закону Гука. Розв'яжіть цю задачу. Дані доберіть самостійно.

11.18. Потрібно виміряти жорсткість пружини. Які величини для цього необхідно виміряти? Які розрахунки слід зробити? Наведіть приклад результатів вимірювань і розрахунків.

11.19. Коли до двох пружин підвісили однакові тягарці, то видовження першої пружини виявилося удвічі більшим за видовження другої. Жорсткість якої пружини більша? У скільки разів?[1]

11.20. Коли до першої пружини підвішували тягарець, а до другої — три такі самі тягарці, видовження пружин було однаковим. У якої пружини більша жорсткість? У скільки разів?

11.21. Що таке рівнодійна сил? Наведіть приклади, у яких рівнодійна двох сил, напрямлених уздовж однієї прямої, за модулем дорівнює: 0; 1 Н; 3 Н.

Достатній рівень

11.22. Під час розтягування силою 20 Н видовження пружини становить 5 см. Під дією якої сили видовження пружини буде на 2 см більшим?[2]

11.23. Коли пружину розтягують силою 20 Н, її видовження становить 4 см.

а) Чому дорівнює жорсткість пружини?

б) Яким буде видовження пружини, якщо її розтягнути силою 30 Н?

в) Яку силу слід прикласти, розтягуючи пружину, щоб її видовження стало на 3 см меншим?

11.24. Під час підвішування вантажу до першої пружини її видовження становить 7 мм, а під час підвішування такого самого вантажу до другої пружини її видовження становить 21 мм. Жорсткість першої пружини — 140 Н/м. Чому дорівнює жорсткість другої пружини? Масами пружин можна знехтувати.

11.25. Пружину розрізали навпіл.

а) Жорсткість кожної з отриманих пружин більша чи менша, ніж жорсткість даної пружини?

б) У скільки разів більша чи менша?[3]

---

[1] *Порада.* Скористайтеся тим, що під час підвішування однакових тягарців значення сили пружності пружин рівні.

[2] *Порада.* Знайдіть спочатку видовження пружини в другому випадку.

[3] *Порада.* Врахуйте, що під час розтягування пружини видовження половини пружини в 2 рази менше, ніж видовження всієї пружини.

11.26. Під час розтягування пружини із силою 6 Н видовження пружини становить 2 мм. Побудуйте графік залежності сили пружності пружини від її видовження.

11.27. На тіло діють три сили, напрямлені уздовж однієї прямої, а модуль кожної сили дорівнює 2 Н.

а) У якому випадку модуль рівнодійної цих сил найбільший? Чому він дорівнює?

б) У якому випадку модуль рівнодійної цих сил найменший? Чому він дорівнює?

Високий рівень

11.28. У вас є дві пружини. Жорсткість першої пружини відома. Як виміряти жорсткість другої пружини, використовуючи лише лінійку з поділками? Коротко опишіть послідовність дій і приклад обчислень. Доберіть числові дані самостійно.

11.29. Коли до пружини підвісили тягарець, довжина пружини становила 18 см, а коли підвісили три такі самі тягарці, довжина пружини становила 22 см. Чому дорівнює довжина недеформованої пружини?

11.30. Під час розтягування пружини із силою 40 Н довжина пружини становить 10 см, а під час розтягування із силою 60 Н — довжина пружини — 12 см. Побудуйте графік залежності сили пружності пружини від її видовження.

11.31. На тіло діють три сили, напрямлені уздовж однієї прямої. Перша сила напрямлена ліворуч і дорівнює 6 Н, а друга сила напрямлена праворуч і дорівнює 10 Н. Чому дорівнює модуль третьої сили і куди вона напрямлена, якщо під дією трьох сил тіло рухається рівномірно прямолінійно? Проілюструйте свою відповідь рисунком.

11.32. До тіла прикладені три сили, напрямлені вздовж однієї прямої і рівні за модулем відповідно 2 Н, 4 Н і 5 Н. Чому може дорівнювати модуль рівнодійної цих сил? Проілюструйте свою відповідь рисунками.

§ 12. СИЛА ТЯЖІННЯ. ВАГА

1. Сила тяжіння.
2. Вага.
3. Порівнюємо вагу та силу тяжіння.
4. Невагомість.

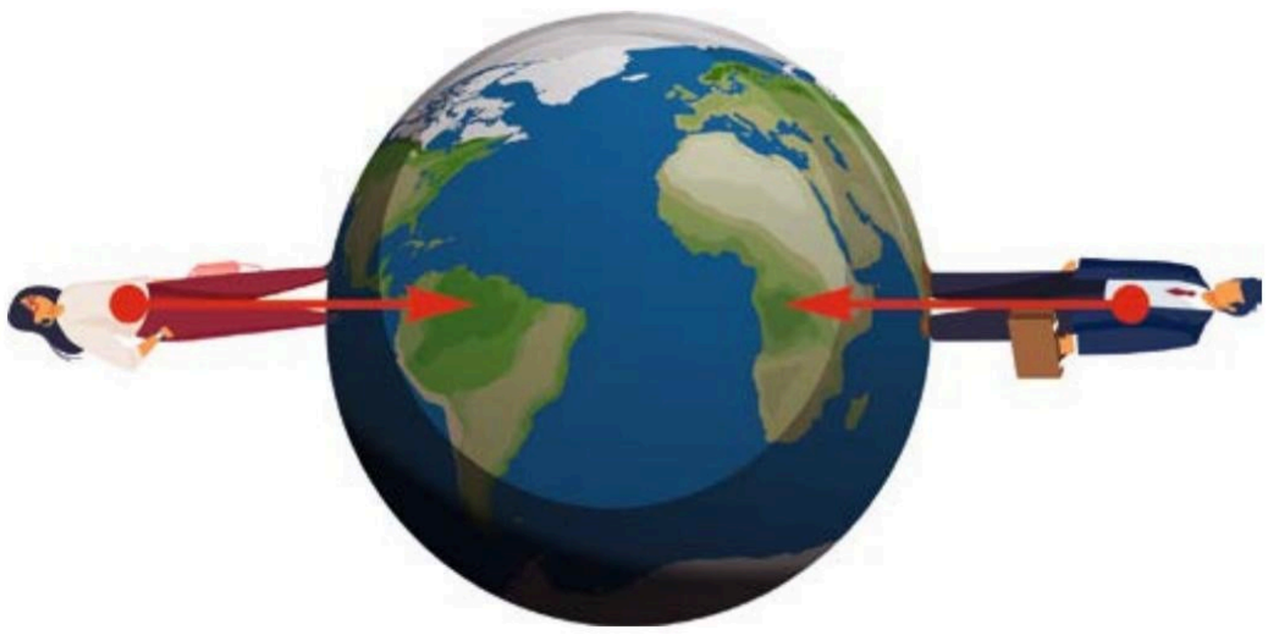
1. Сила тяжіння

Нагадаємо, що

силу, з якою Земля притягує тіло біля своєї поверхні, називають *силою тяжіння*.

Силу тяжіння прийнято позначати $\vec{F}_т$.

Сила тяжіння спрямована до центру Землі, а оскільки Земля за формою нагадує кулю, то і напрямок сили тяжіння в жителів Землі в різних місцях неоднаковий. Наприклад, для землян, які перебувають у діаметрально протилежних точках земної поверхні, напрямки сили тяжіння протилежні (мал. 12.1). Саме напрямок сили тяжіння ми називаємо напрямком «униз», тому напрямки «вниз» у жителів різних континентів відрізняються.



Мал. 12.1

Досліди свідчать, що сила тяжіння, яка діє на дане тіло, *пропорційна* до маси цього тіла (ми вже розповідали, як це використовують для вимірювання маси тіла). Тому для модуля сили тяжіння можна записати

$$F_т = gm .$$

Значення коефіцієнта пропорційності g можна визначити, вимірявши силу тяжіння, що діє на тіло відомої маси. Вимірювання показують, що $g = 9{,}8$ Н/кг. Для спрощення розрахунків під час розв'язування задач зазвичай вважають, що $g = 10$ Н/кг.

Точку прикладання ваги називають *центром ваги* тіла.

12.1. Яка сила тяжіння діє на школяра, маса якого дорівнює 50 кг?

У міру віддалення від поверхні Землі сила тяжіння, що діє на те саме тіло, зменшується. Цю зміну сили тяжіння можна ігнорувати, якщо відстань до поверхні Землі значно менша від радіуса Землі. Але, наприклад, на відстані від поверхні Землі, що дорівнює її радіусу, сила тяжіння в 4 рази менша, ніж на поверхні Землі.

12.2. М'яч кидають вертикально вгору.

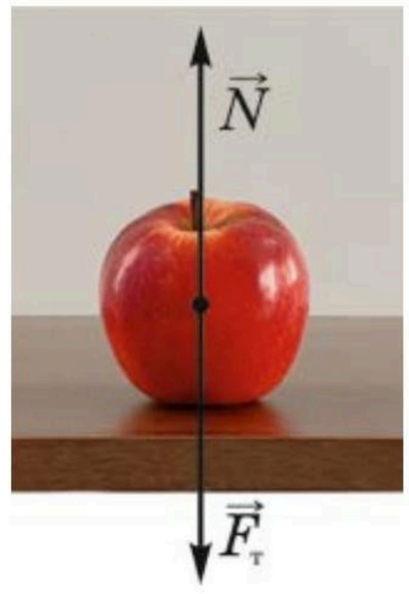
а) Чи змінюватиметься сила тяжіння, що діє на м'яч, під час його руху?

б) Чи зміниться сила тяжіння, що діє на м'яч, коли він впаде на землю?

12.3. На столі лежать суцільні (без порожнин) мідна і сталева кульки однакового радіусу. На яку з кульок діє більша сила тяжіння? У скільки разів більша?

Коли тіло спирається на деяку опору, сила тяжіння, що діє на тіло, врівноважується силою, що діє на це тіло з боку опори.

Наприклад, на малюнку 12.2 схематично зображені дві сили, що діють на яблуко, яке лежить на столі: напрямлена вниз сила тяжіння $\vec{F}_т$ і напрямлена вгору сила пружності $\vec{N}$, яка діє з боку столу. Силу $\vec{N}$ називають *силою нормальної реакції*, тому що вона напрямлена перпендикулярно до поверхні тіла (у даному випадку — стола), з боку якого ця сила діє, а перпендикуляр ще називають нормаллю.



Мал. 12.2

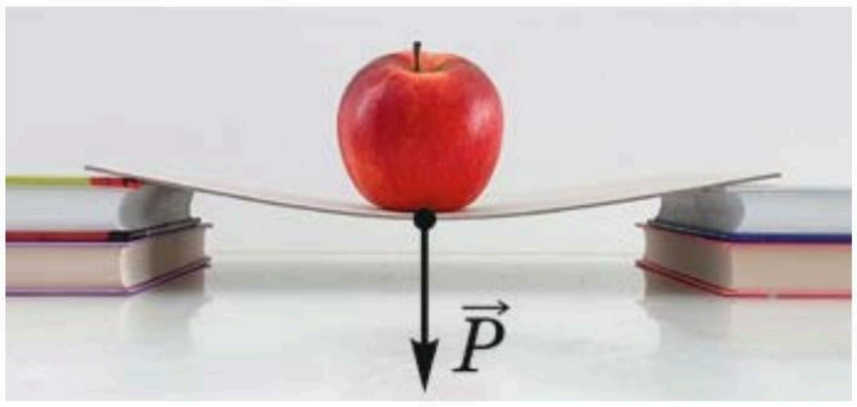
Оскільки в цьому випадку сила тяжіння і сила нормальної реакції *зрівноважують* одна одну, то вони рівні за модулем: $N = F_т$.

На малюнку сили, що діють на яблуко, зображені прикладеними в *одну* точку, тому що ми розглядаємо яблуко як матеріальну точку.

2. Вага

Проведемо дослід

Покладемо яблуко на аркуш картону, краї якого лежать на книгах (мал. 12.3).



Мал. 12.3

Помітимо, що аркуш картону прогнувся, тобто деформувався під дією напрямленої вниз сили пружності з боку яблука. Це — *вага* яблука.

Вага тіла — це сила, з якою тіло тисне на горизонтальну опору або розтягує вертикальний підвіс унаслідок притягання цього тіла до Землі.

На яблуко з боку аркуша картону діє вже знайома вам сила нормальної реакції, яка *зрівноважує* силу тяжіння, що діє на яблуко.

Вагу часто позначають символом $\vec{P}$.

Під впливом ваги тіла опора завжди деформується, але ця деформація не завжди помітна оку. Наприклад, деформація столу під вагою яблука непомітна, проте аркуш картону під вагою того самого яблука помітно прогнувся. Деформацію столу під вагою яблука також можна виявити за допомогою точних приладів.

Вага тіла *в стані спокою* за модулем дорівнює силі тяжіння, що діє на це тіло: $P = mg$.

Оскільки вага — це сила, а одиниця сили — ньютон, то вагу вимірюють у ньютонах. Під час розв'язування задач і виконання лабораторних робіт корисно пам'ятати, що числове значення ваги тіла в ньютонах приблизно в 10 разів більше за значення маси того самого тіла в кілограмах. Наприклад, вага кілограмової гирі становить приблизно 10 ньютонів.

Однак у побуті вагу часто «вимірюють» кілограмами (нехай і некоректно з наукової точки зору). Якщо ви «правильно» попросите продавця продати вам яблука, вага яких 30 ньютонів, навряд чи він вас зрозуміє.

12.4. Яка ваша вага в ньютонах?

12.5. Яка вага (в ньютонах) тіла, яке ви могли б підняти?

3. Порівнюємо вагу та силу тяжіння

Вагу і силу тяжіння часто плутають або помилково вважають тією самою силою. Порівняймо ці сили.

Що спільного у ваги та сили тяжіння?	Чим відрізняються вага та сила тяжіння?
• Вага *тіла в стані спокою* дорівнює силі тяжіння, що діє на це тіло: $P = gm$. • Вага і сила тяжіння *однаково* напрямлені — обидві ці сили напрямлені вниз.	• Вага і сила тяжіння мають *різну фізичну* природу: сила тяжіння — прояв сил всесвітнього тяжіння, а вага — сил пружності. • Вага і сила тяжіння *діють на різні тіла*: сила тяжіння діє на дане тіло, а вага — на опору (або підвіс). • Вага і сила тяжіння діють з боку різних тіл: сила тяжіння діє з боку Землі, а вага — з боку даного тіла.

Як видно з таблиці, у ваги та сили тяжіння менше спільного, ніж відмінностей.

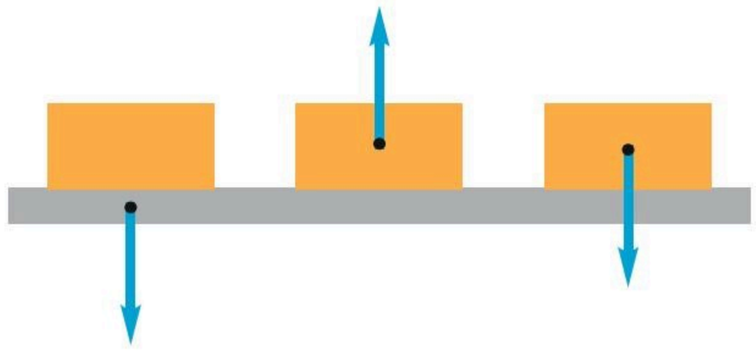
12.6. Перенесіть малюнок 12.4 до зошита. Позначте кожну із зображених на малюнку сил і напишіть поруч з кожним малюнком:

а) назву сили;

б) фізичну природу цієї сили;

в) до якого тіла прикладена ця сила;

г) з боку якого тіла діє ця сила.



Мал. 12.4

4. Невагомість

Проведемо дослід



Мал. 12.5

Відпустимо м'яч і розглянемо його рух (мал. 12.5).

Під час вільного падіння він не тисне на опору і не розтягує підвіс: тому під час падіння його вага *дорівнює нулю*.

Стан, за якого вага тіла дорівнює нулю, називають *невагомістю*.

Тіло перебуває в невагомості, якщо на нього діє *тільки сила тяжіння*.

12.7. Чи буде під час польоту перебувати в невагомості тіло, яке кинули:

а) вниз; б) вгору; в) під кутом до горизонту?

Опором повітря знехтуйте.[1] [2]

Кожен з вас може випробувати короткочасний стан невагомості, просто стрибнувши (мал. 12.6). Протягом всього «польоту» ви перебуватимете в невагомості.



Мал. 12.6



Мал. 12.7

Космонавти перебувають у тривалому стані невагомості під час космічного польоту з вимкненими двигунами (мал. 12.7).

---

[1] *Порада.* Врахуйте, що протягом усього польоту на кинуте тіло діє тільки сила тяжіння.

[2] *Відповідь.* Буде.

Про що ми дізнались?

- *Сила тяжіння* — це сила, з якою Земля притягує тіло, розташоване біля її поверхні.
- Модуль сили тяжіння обчислюють за формулою $F_т = gm$.
- Сила тяжіння зменшується в міру віддалення від поверхні Землі. Біля поверхні Землі $g = 9{,}8$ Н/кг. Для спрощення зазвичай вважають, що $g = 10$ Н/кг.
- *Вага тіла* — це сила, з якою тіло тисне на горизонтальну опору або розтягує вертикальний підвіс за рахунок притягання цього тіла до Землі.
- Вага *тіла в стані спокою* за модулем дорівнює силі тяжіння, що діє на це тіло: $P = mg$.
- Числове значення ваги тіла в ньютонах приблизно в 10 разів більше за значення маси того самого тіла в кілограмах.
- Вага і сила тяжіння мають *різну фізичну* природу: сила тяжіння — це прояв сил всесвітнього тяжіння, а вага — сил пружності.
- Вага і сила тяжіння *діють на різні тіла*: сила тяжіння діє на дане тіло, а вага — на опору (або підвіс).

Домашній експеримент

12.8. Зробіть шилом отвір у дні пластикової пляшки. Закрийте його пальцем, наповніть пляшку водою і щільно закоркуйте. Відпустіть палець: вода виливатиметься з отвору в дні. Підкиньте пляшку вгору. Поясніть, чому вода не виливається з пляшки протягом усього польоту. Цей експеримент слід проводити надворі.

Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

12.9. Чому дорівнює сила тяжіння, що діє на тіло, маса якого дорівнює масі вашого тіла?

12.10. Чи діє сила тяжіння на тіло, яке:
а) плаває на поверхні води;
б) тоне у воді;
в) підкинули вгору?

12.11. Дві кулі рівних радіусів виготовлені з двох різних речовин. Виберіть ці речовини самостійно з довідкових даних і порівняйте значення сили тяжіння, що діють на кулі: на яку з куль діє більша сила тяжіння і у скільки разів більша?

12.12. Зобразіть схематично кулю масою m, яка лежить на столі, і сили, що діють на цю кулю та з боку цієї кулі. Позначте всі сили і запишіть їх формули.

12.13. Вага першого учня на 100 Н більша, ніж вага другого. Маса якого учня більша і наскільки?

Достатній рівень

12.14. Яблуко висить на гілці, потім відривається від гілки, падає на землю і, врешті, лежить на землі. Як при цьому змінюються:
а) сила тяжіння, що діє на яблуко; б) вага яблука?

12.15. Чому вага тіла, яке падає, дорівнює нулю?

12.16. У вазу, маса якої становить 500 г, налили 2 л води. Якою стала вага вази з водою?

12.17. Коли порожню посудину наповнили по вінця гасом, вага посудини збільшилася на 160 Н. Який об'єм посудини?

12.18. У вас є підлогові ваги, які мають межі вимірювання 20 кг і 200 кг. Як знайти масу невеликого домашнього песика за допомогою цих терезів?

Високий рівень

12.19. Чи змінюється вага літака під час польоту? Свою відповідь обґрунтуйте.[1]

12.20. З якого матеріалу може бути виготовлений куб з довжиною ребра 10 см, якщо на нього діє сила тяжіння 8 Н?

12.21. Олов'яний кубик з довжиною ребра 10 см тисне на стіл із силою 51 Н.
а) Чи є цей кубик суцільним, чи має порожнину?
б) Якщо має порожнину, то який її об'єм?

12.22. Стінки порожнистого куба з довжиною ребра 7 см виготовляються з мідних пластин завтовшки 1 см. Чому дорівнює вага куба?[2]

12.23. На дно посудини, доверху заповненої водою, акуратно помістили сталеву пластину, вага якої 3,9 кг. На скільки збільшилася вага посудини з умістом?

---

[1] *Порада.* Літак споживає паливо.

[2] *Відповідь.* 19,4 Н.

§ 13. ТЕРТЯ

1. Сила тертя ковзання.
2. Сила тертя спокою.
3. Сила тертя кочення.
4. Значення сил тертя в природі і техніці.

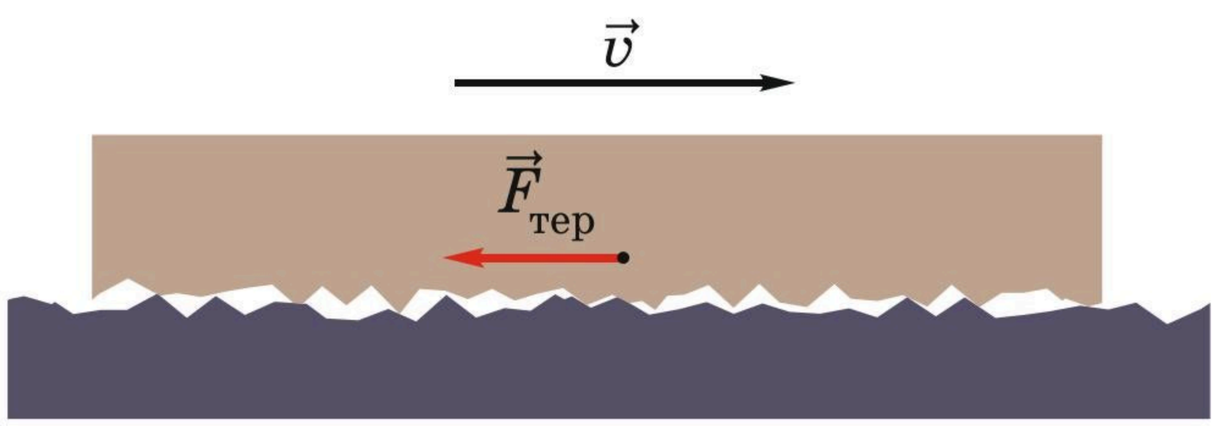
1. Сила тертя ковзання

Ми вже проводили експеримент, у якому штовхали брусок, що лежить на столі. Після поштовху брусок ковзає по столу, і його швидкість зменшується до повної зупинки. Причиною зменшення швидкості бруска є сила тертя ковзання, що діє на брусок з боку столу.

Сили тертя ковзання завжди виникають між тілами, які стикаються, коли вони рухаються одне відносно одного.

Що зумовлює сили тертя ковзання?

На поверхнях твердих тіл завжди є незначні нерівності. Коли ці тіла рухаються одне відносно одного, нерівності одного тіла чіпляються за нерівності іншого. Схематично це зображено на малюнку 13.1.



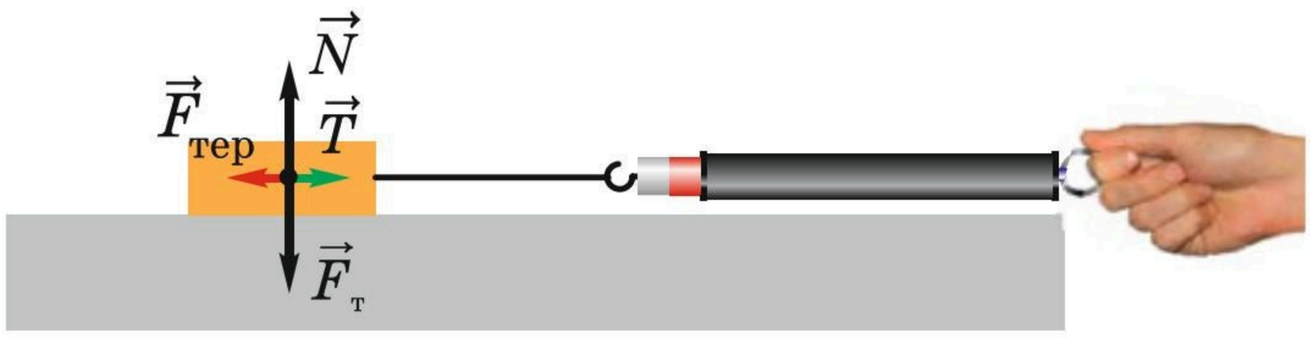
Мал. 13.1

Силу тертя ковзання можна зменшити, поліруючи поверхні. Але при цьому не варто перестаратися: якщо поверхні занадто гладкі, сила тертя ковзання може збільшитися через дію міжмолекулярних сил притягання між молекулами тіл, що дотикаються.

Від чого залежить сила тертя ковзання?

Проведемо дослід

За допомогою динамометра будемо тягнути брусок уздовж столу так, щоб швидкість бруска була сталою (мал. 13.2).

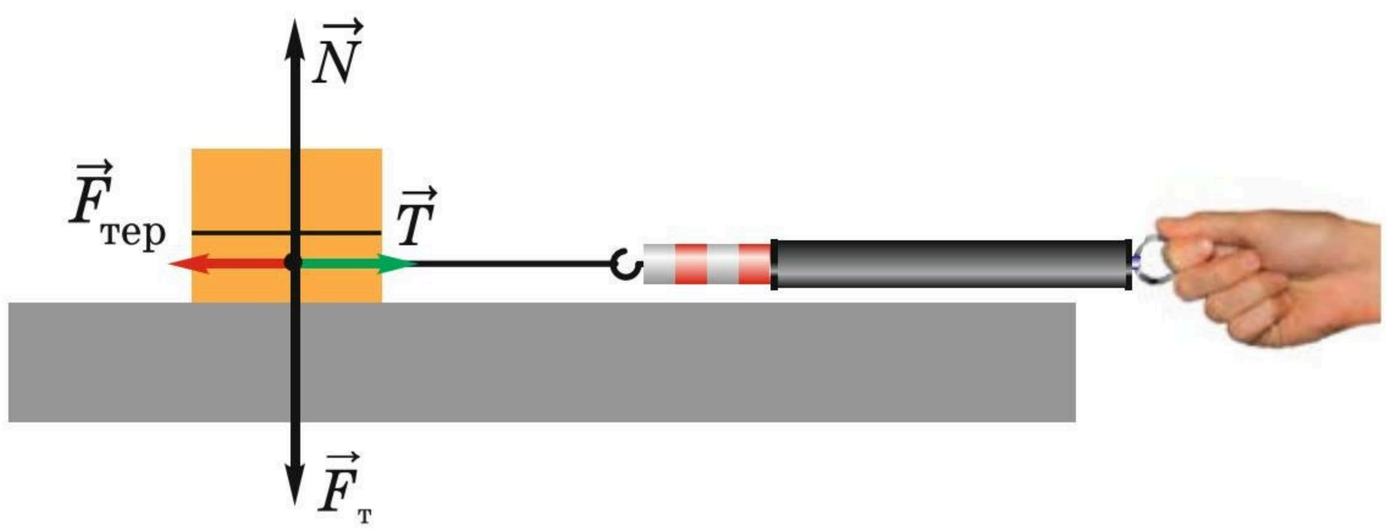


Мал. 13.2

Ми вже знаємо, що в цьому випадку рівнодійна сил, прикладених до бруска, дорівнює нулю.

Тому сила нормальної реакції з боку столу, напрямлена вгору, зрівноважує силу тяжіння, а горизонтально спрямована сила пружності, що діє на брусок з боку пружини динамометра, зрівноважує силу тертя ковзання, що діє на брусок з боку столу. Це означає, що динамометр показує, чому дорівнює модуль сили тертя ковзання.

Запишемо значення сили тертя ковзання і повторимо експеримент, поставивши на брусок такий самий брусок (мал. 13.3).



Мал. 13.3

При цьому сила нормальної реакції збільшилася у 2 рази порівняно з першим експериментом. І сила тертя ковзання, як показав динамометр, теж *збільшилася* у 2 рази.

Це дозволяє *висунути гіпотезу* про те, що *модуль сили тертя ковзання прямо пропорційний модулю сили нормальної реакції.*

Експерименти з більшою кількістю брусків підтверджують це припущення.

Отже, можна написати:

$$F_{\text{тер}} = \mu N \, .$$

Коефіцієнт пропорційності μ називають *коефіцієнтом тертя.*

Коефіцієнти тертя між різними поверхнями визначають експериментально. У довідкових даних наведені значення коефіцієнтів тертя для декількох типів поверхонь.

Експерименти свідчать, що сила тертя ковзання практично не залежить від площі зіткнення тіл і їх відносної швидкості. Тому, розв'язуючи шкільні задачі, вважають, що сила тертя ковзання залежить лише від сили нормальної реакції і коефіцієнта тертя.

13.1. Учень, маса якого дорівнює 50 кг, під час уроку фізкультури рівномірно ковзає по канату вниз.

а) Які сили діють на учня? Чи зрівноважують вони одна одну?

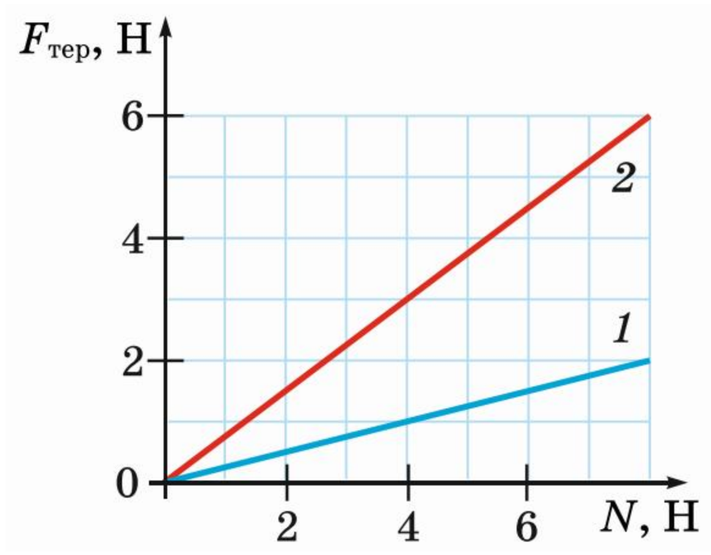
б) Яка сила тертя ковзання діє на учня?[1]

13.2. Чому формулу, яка пов'язує силу тертя ковзання із силою нормальної реакції, не можна записати у векторній формі?[2] [3]

13.3. На малюнку 13.4 наведені графіки залежності сили тертя ковзання від сили нормальної реакції для двох різних брусків, що ковзають по столу.

а) Для якого бруска коефіцієнт тертя між ним і столом більший і в скільки разів?

б) Чому дорівнює коефіцієнт тертя для кожного з брусків?



Мал. 13.4

Лабораторна робота № 8

Встановлення залежності між силою тертя ковзання і силою тяжіння під час руху тіла по горизонтальній поверхні. Вимірювання коефіцієнта тертя ковзання

Мета: виміряти коефіцієнт тертя ковзання дерева об дерево.

Обладнання: *дерев'яний брусок,* дерев'яна дошка або лінійка, набір тягарців, маса яких дорівнює 100 г, динамометр, прозора лінійка.

---

[1] *Порада.* Скористайтеся тим, що учень рухається прямолінійно рівномірно.

[2] *Відповідь.* а) Сила тяжіння і сила тертя ковзання. Зрівноважують. б) 500 Н.

[3] *Відповідь.* Тому що напрямки цих сил різні: ці сили спрямовані *перпендикулярно* одна до одної.

Перебіг роботи

1. Виміряйте вагу бруска і запишіть результат.

2. Виміряйте силу тертя ковзання під час руху бруска по дошці. Запишіть результат вимірювання.

3. Повторіть досліди, поклавши на брусок 2 і 3 тягарці (по 100 г). Для кожного експерименту записуйте, чому дорівнює сила нормальної реакції і сила тертя ковзання.

4. Накресліть систему координат (вісь абсцис — сила нормальної реакції, вісь ординат — сила тертя ковзання) та позначте в ній отримані експериментальні точки.

5. Якщо ви виміряли точно, точки, які ви побудували, будуть розташовані поблизу прямої, що проходить через початок координат, оскільки сила тертя прямо пропорційна до сили нормальної реакції. Проведіть цю пряму, використовуючи прозору лінійку.

6. Використовуючи проведену лінію, знайдіть відношення сили тертя до сили нормальної реакції — це значення виміряного вами коефіцієнта тертя ковзання. Запишіть це значення.

7. Зробіть висновки і запишіть їх.

2. Сила тертя спокою

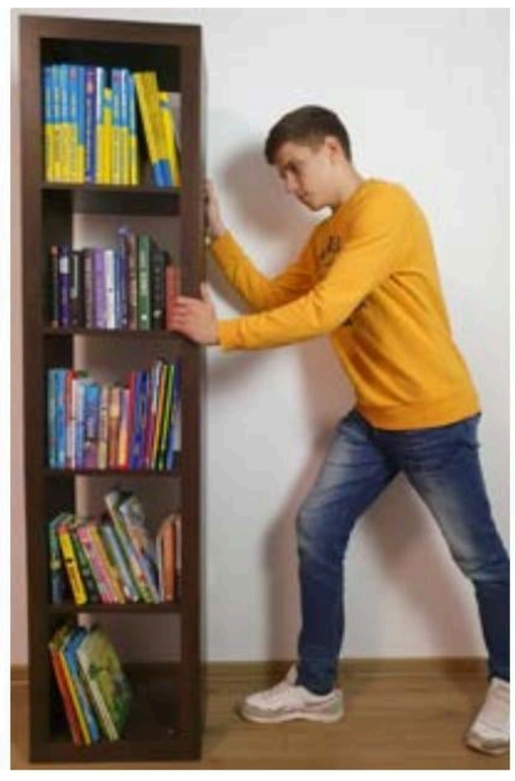
Проведемо дослід

Спробуйте зрушити шафу: для цього доведеться прикласти значну силу (мал. 13.5).

Поки прикладена вами сила порівняно незначна, шафа залишається на місці. Яка ж сила так точно зрівноважує вашу силу?

Це *сила тертя спокою*.

Вона виникає, коли два тіла, які дотикаються, намагаються зрушити одне відносно одного. Причина виникнення сили тертя спокою та сама, що і сили тертя ковзання — зачеплення нерівностей на поверхнях тіл.



Мал. 13.5

Якщо збільшити силу, прикладену до шафи,

вона почне рухатися. Це свідчить про те, що в кожному конкретному випадку існує деяка *максимальна сила тертя спокою*.

Дослід показує, що максимальна сила тертя спокою трохи більша за силу тертя ковзання. Однак під час розв'язування шкільних завдань для спрощення вважають, що *максимальна* сила *тертя спокою дорівнює силі тертя ковзання*.

13.4. До бруска, який лежить на столі, прикладають горизонтально напрямлену силу. Маса бруска дорівнює 500 г, коефіцієнт тертя між бруском і столом дорівнює 0,4. Чи зрушить брусок з місця і чому дорівнює рівнодійна прикладених до бруска сил, якщо модуль горизонтально напрямленої сили становить: а) 1 Н; б) 5 Н?[1] [2]

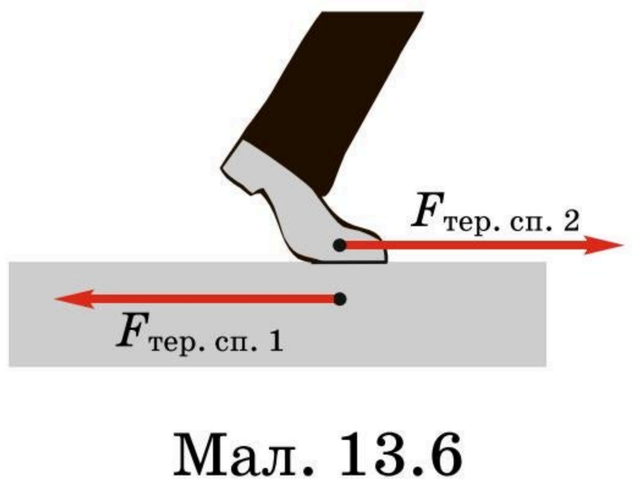
Чи може сила тертя спокою збільшувати швидкість тіла?

Може здатися дивним і навіть неймовірним, що саме сила тертя спокою *розганяє* автомобілі, навіть гоночні!

Річ у тім, що тягове колесо автомобіля (яке приводять у рух двигуном) *відштовхується* від дороги за допомогою *сили тертя спокою*: про це свідчать, наприклад, *чіткі* сліди від мокрих автомобільних шин на асфальті. Справді, якби найнижча точка колеса не перебувала в стані спокою відносно дороги, сліди шин були б розмитими.

Саме тому машина не може розігнатися на слизькому льоду: її колеса буксують на кризі — обертаються, але ковзають.

Під час ходьби людину теж розганяє сила тертя спокою. Наприклад, коли ви робите крок зі стану спокою, ви набираєте швидкості, *відштовхуючись* від дороги. При цьому між підошвою і дорогою діє сила тертя спокою: на це вказує чіткий слід підошви (якщо вона залишає сліди). За допомогою сил тертя спокою ви відштовхуєте дорогу назад, а вона штовхає вас *вперед* (мал. 13.6).



Мал. 13.6

[1] *Порада.* Порівняйте прикладену силу з максимальною силою тертя спокою.
[2] *Відповідь.* а) Не зрушить; 0. б) Зрушить; 3 Н.

3. Сила тертя кочення



Мал. 13.7

Тягнути вантаж значно важче, ніж котити візок з таким самим вантажем (мал. 13.7).

Річ у тім, що між колесами візка, які крутяться, і дорогою діють *сили тертя кочення*, адже нижня точка колеса *перебуває в спокої* відносно дороги. А сили тертя кочення зазвичай значно менші, ніж сили тертя ковзання. Саме в значному зменшенні сили тертя і полягає перевага колеса, геніальний винахідник якого так і залишився невідомим.

Цікаво, що в деяких древніх цивілізаціях (наприклад, у стародавніх єгиптян і доколумбових в Америці) колесо не використовували в побуті, хоча археологи знайшли дитячі іграшки у формі візків!

Оскільки сила тертя кочення менша, ніж сила тертя ковзання, то для зменшення сили тертя в різних механізмах намагаються замінити тертя ковзання тертям кочення. Наприклад, з цією метою використовують *підшипники* (мал. 13.8).



Мал. 13.8



Мал. 13.9

4. Значення сил тертя в природі і техніці

Роль сил тертя в повсякденному житті, природі і техніці важко переоцінити.

Наприклад, якби не було сили тертя, неможливо було б зав'язати жоден вузол: адже вузли тримаються лише за рахунок сили тертя спокою.

Меблі та й чимало інших предметів не трималися б на своїх місцях. Ми (так само, як і тварини) не змогли б рухатися: ви вже знаєте, яку роль відіграє сила тертя в ходьбі. Машини не могли б їздити, і навіть коні не могли тягнути вози: адже коні відштовхуються від дороги копитами за допомогою сил тертя спокою.

Для *безпеки* руху збільшують коефіцієнт тертя між колесами автомобіля і дорогою. Для цього шини виготовляють зі спеціальних сортів гуми і надають покришкам особливої форми (мал. 13.9), а дорожнє покриття — із шершавих матеріалів — асфальту і бетону.

У техніці часто виникає необхідність *зменшити* сили тертя. Для цього силу тертя ковзання змінюють силою тертя кочення.

Сила опору під час руху в рідини чи газі зазвичай набагато менша від сили тертя ковзання між сухими поверхнями. Тому для зменшення сили тертя використовують мастило: воно заповнює простір між поверхнями, і тому їхні нерівності не чіпляються одна за одну.

Про що ми дізнались?

- Модуль сили тертя ковзання $F_{тер} = \mu N$, де μ — *коефіцієнт тертя*, N — модуль сили нормальної реакції.
- Сила тертя спокою виникає, коли тіла, які дотикаються, намагаються зрушити одне відносно одного.
- Максимальна сила тертя спокою трохи більша за силу тертя ковзання. Однак під час розв'язування шкільних завдань для спрощення вважають, що *максимальна* сила *тертя спокою дорівнює силі тертя ковзання*.
- Сила тертя кочення зазвичай значно менша від сили тертя ковзання, тому для зменшення тертя силу тертя ковзання змінюють силою тертя кочення.

Домашній експеримент

13.5. За допомогою виготовленого вами динамометра порівняйте сили тертя ковзання і кочення під час руху іграшкового автомобіля (поміркуйте, як можна заблокувати колеса, щоб вони не крутилися). Якого висновку можна дійти з вашого досліду?

Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

13.6. Запишіть формулу, за якою обчислюють силу тертя ковзання. Назвіть кожну фізичну величину, що входить до цієї формули.

13.7. Стисло опишіть, як можна збільшити або зменшити силу тертя ковзання.

13.8. Яку горизонтальну силу слід прикласти до шафи, маса якої дорівнює 80 кг, щоб зрушити її з місця? Коефіцієнт тертя між шафою і підлогою дорівнює 0,3. Порівняйте цю силу зі своєю вагою.

13.9. Чому під час ожеледиці важко прискорюватися і сповільнюватися (гальмувати)?

Достатній рівень

13.10. Якщо на брусок, маса якого дорівнює 2,5 кг, діє сила 5 Н, він рівномірно ковзає по столу.

а) Яка сила тертя ковзання діє на брусок?

б) Який коефіцієнт тертя між брусом і столом?

в) Якби брусок був у стані спокою, і на нього діяла горизонтально напрямлена сила 3 Н, то якою була б сила тертя?[1]

13.11. Брусок, маса якого дорівнює 0,2 кг, під дією горизонтально напрямленої сили 0,8 Н рухається по столу зі сталою швидкістю.

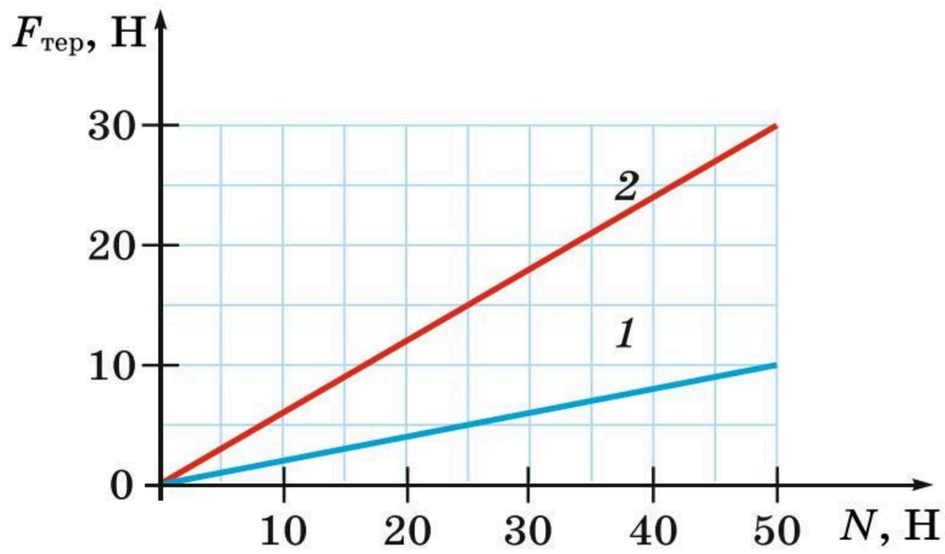
а) Чому дорівнює коефіцієнт тертя між бруском і столом?

б) Яку горизонтально напрямлену силу слід прикласти до бруска, щоб він рухався рівномірно, якщо на брусок поставили вантаж 0,5 кг?

13.12. На малюнку 13.10 зображені графіки залежності сили тертя від сили нормальної реакції під час ковзання тіла по двох різних поверхнях.

а) У скільки разів коефіцієнт тертя ковзання по одній поверхні більший, ніж по іншій поверхні?

б) Чому дорівнюють коефіцієнти тертя в кожному випадку?[2]



Мал. 13.10

---

[1] *Порада.* в) Визначте спочатку, чи зрушить брусок з місця.

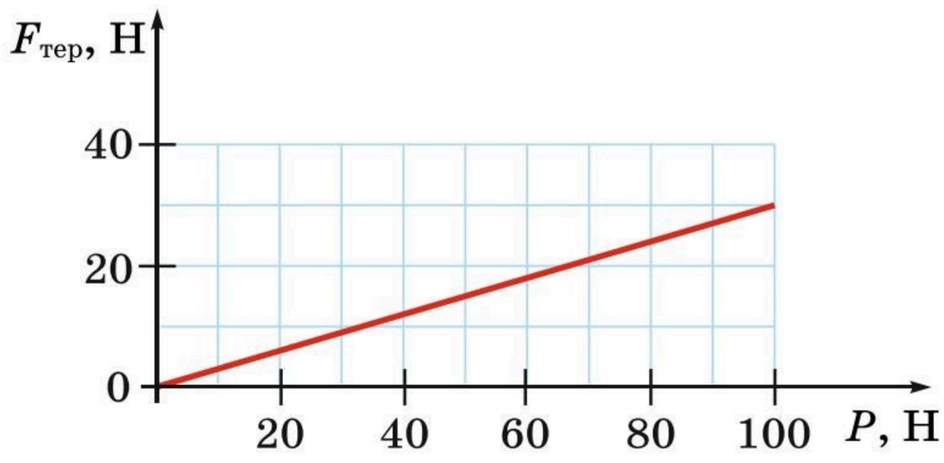
[2] *Відповідь.* а) У 3 рази. б) 0,2 і 0,6.

13.13. Коефіцієнт тертя між колодою і дорогою дорівнює 0,4.
а) Що легше: тягнути колоду по горизонтальній дорозі чи підняти її?
б) У скільки разів легше?

13.14. За допомогою горизонтально розташованої пружини з жорсткістю 120 Н/м рівномірно переміщують по столу брусок, маса якого дорівнює 1,2 кг. Чому дорівнює коефіцієнт тертя між бруском і столом, якщо видовження пружини становить 3 см?

Високий рівень

13.15. На малюнку 13.11 зображений графік залежності сили тертя ковзання від ваги вантажу під час ковзання по горизонтальній поверхні.
а) Чи можна зрушити з місця вантаж, маса якого дорівнює 60 кг, прикладаючи горизонтально напрямлену силу 150 Н?
б) Обчисліть масу вантажу, який можна зрушити з місця на даній поверхні, приклавши до нього горизонтально напрямлену силу 150 Н.



Мал. 13.11

13.16. На столі — стопка з трьох однакових брусків, що лежать один на одному. Щоб зрушити верхній брусок, утримуючи інші, необхідно прикласти горизонтальну силу, більшу за 2 Н. Яку горизонтальну силу слід прикласти, щоб зрушити середній брусок, утримуючи інші?[1]

13.17. Щоб брусок рівномірно переміщувати по столу, до нього необхідно прикласти горизонтальну силу 0,8 Н. Коли ж на цей брусок поставили гирю, маса якої становить 2 кг, для рівномірного переміщення бруска потрібна сила1,2 Н.
а) Чому дорівнює маса бруска?
б) Чому дорівнює коефіцієнт тертя між брусом і столом?

---

[1] *Відповідь*. Більшу за 6 Н.

ГОЛОВНЕ В ЦЬОМУ РОЗДІЛІ

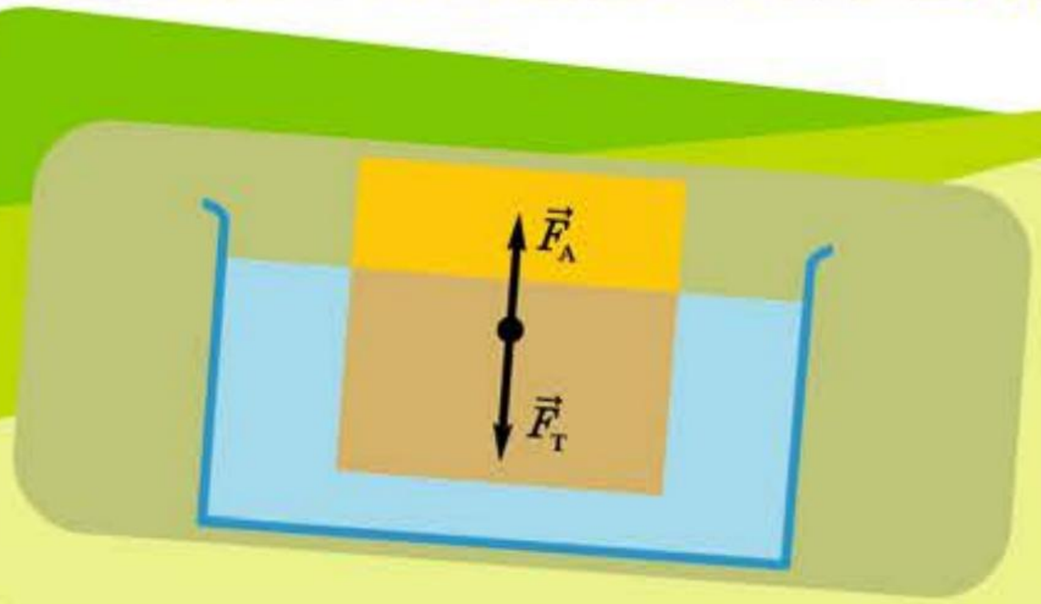
- *Явище інерції*: якщо на тіло не діють інші тіла, то воно перебуває в стані спокою або рухається з постійною швидкістю, тобто прямолінійно і рівномірно. Явище інерції відкрив Галілей.
- *Інертність* — це властивість тіла зберігати свою швидкість: що більша інертність тіла, то складніше змінити його швидкість.
- Мірою інертності тіла є його *маса*.
- Одиницею маси СІ є кілограм (кг). Один кілограм приблизно дорівнює масі одного літра прісної води.
- Порівняти маси двох тіл можна в результаті взаємодії цих тіл.
- Найпростішим способом вимірювання маси тіла є зважування.
- Відношення маси m тіла, що складається з деякої речовини, до об'єму V цього тіла називають *густиною* речовини, з якої складається це тіло $\rho = \frac{m}{V}$. Густина ρ характеризує речовину, з якої виготовлене це тіло.
- Значення густини речовини в одиницях СІ чисельно дорівнює масі одного кубічного метра цієї речовини, вираженій у кілограмах.
- Тіла завжди діють одне на одне, тобто дія одного тіла на друге є проявом *взаємодії* тіл.
- Взаємодію тіл описують за допомогою поняття *сил*: кажуть, що кожне із двох тіл, які взаємодіють, діє на інше тіло з певною силою.
- Кожну силу характеризують *числовим значенням* (модулем) і *напрямком*, тобто сила є векторною величиною.
- Кожну силу характеризують *точкою прикладання сили*.
- Механічні явища можна описати *за допомогою трьох видів* сил: *сил пружності*, *сил тертя* і *сил тяжіння*.
- Під дією сили змінюється швидкість тіла: за модулем і/або напрямком.
- Одиницею сили СІ є ньютон.
- *Сили пружності пов'язані з деформацією тіл*, тобто зміною їхніх розмірів і/або форми.

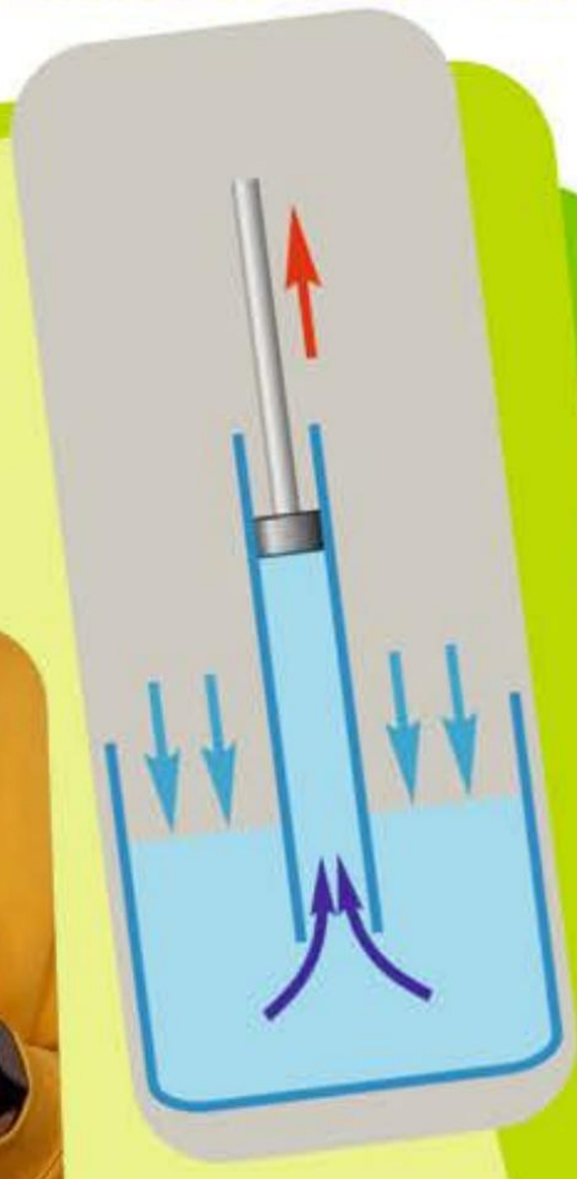
- Закон Гука. Сила пружності пружини пропорційна до її видовження: $F = kx$. Коефіцієнт пропорційності k в законі Гука називають *жорсткістю* пружини.
- Графік залежності пружної сили від деформації є відрізком прямої, один кінець якого збігається з початком координат.
- Деформацію, яка зникає після дії сили, називають *пружною*.
- Деформацію, яка залишається після припинення дії сили, називають *непружною*.
- Закон Гука справедливий тільки для пружних деформацій.
- Сили вимірюють динамометром.
- Сила, яка чинить на тіло таку саму дію, як і кілька сил, прикладених до тіла, називають *рівнодійною* цих сил.
- Рівнодійна двох сил, напрямлених однаково, напрямлена так само, як і ці сили, а модуль рівнодійної дорівнює сумі модулів цих сил.
- Рівнодійна двох нерівних за модулем сил, напрямлених протилежно, напрямлена так само, як і більша з цих сил, а модуль рівнодійної дорівнює різниці модуля більшої і меншої сил.
- *Сила тяжіння* — це сила, з якою Земля притягує тіло, розташоване поблизу поверхні Землі.
- Модуль сили тяжіння виражають формулою $F_т = gm$.
- Сила тяжіння зменшується в міру віддалення від поверхні Землі. Біля поверхні Землі $g = 9{,}8$ Н/кг. Для спрощення зазвичай беруть $g = 10$ Н/кг.
- *Вага тіла* — це сила, з якою тіло тисне на горизонтальну опору або розтягує вертикальний підвіс за рахунок тяжіння цього тіла до Землі.
- Вага *тіла в стані спокою* за модулем дорівнює силі тяжіння, що діє на це тіло: $P = gm$.
- Числове значення ваги тіла в ньютонах приблизно в 10 разів перевищує значення маси того самого тіла в кілограмах.
- Вага і сила тяжіння мають *різну фізичну* природу: сила тяжіння — це прояв сил всесвітнього тяжіння, а вага — сила пружності.
- Вага і сила тяжіння *діють на різні тіла*: на дане тіло діє сила тяжіння, а вага — на опору (або підвіс).

- Модуль сили тертя ковзання $F_{\text{тер}} = \mu N$, де μ — *коефіцієнт тертя*, N — модуль сили нормальної реакції.
- Сила тертя спокою виникає за спроби перемістити одне з тіл, що стикаються, відносно другого, якщо тіла залишаються в стані спокою одне відносно одного.
- Сила тертя спокою не перевищує максимальну силу тертя спокою. Розв'язуючи шкільні задачі, вважають, що максимальна сила тертя спокою дорівнює силі тертя ковзання.
- Сила тертя кочення зазвичай значно менша від сили тертя ковзання, тому для зменшення тертя силу тертя ковзання змінюють силою тертя кочення.

РОЗДІЛ IV. ТИСК ТВЕРДИХ ТІЛ, РІДИН І ГАЗІВ

§ 14. ТИСК. ТИСК ТВЕРДИХ ТІЛ
§ 15. ТИСК РІДИН І ГАЗІВ. ЗАКОН ПАСКАЛЯ
§ 16. ЗАЛЕЖНІСТЬ ТИСКУ РІДИНИ ВІД ГЛИБИНИ. ЗАКОН СПОЛУЧЕНИХ ПОСУДИН
§ 17. АТМОСФЕРНИЙ ТИСК
§ 18. ВИШТОВХУВАЛЬНА СИЛА В РІДИНАХ І ГАЗАХ. ЗАКОН АРХІМЕДА. ПЛАВАННЯ ТІЛ











§ 14. ТИСК. ТИСК ТВЕРДИХ ТІЛ

1. Сила тиску і тиск.

2. Способи зменшення і збільшення тиску.

1. Сила тиску і тиск

Як ви вважаєте: з якою метою використовують лижі? Чому людина в черевиках провалюється у сніг, а лижник легко ходить по тому самому снігу (мал. 14.1)?

Річ у тім, що лижі значно збільшують площу *опори*, в результаті чого за тієї самої *сили тиску* (яка дорівнює вазі людини) *тиск* на сніг значно знижується.



Мал. 14.1

Тиск p — це відношення модуля сили тиску F, що діє на певну площу S поверхні, до цієї площі:

$$p = \frac{F}{S}.$$

На відміну від сили тиску, яка (як і будь-яка сила) є векторною величиною, тиск є *скалярною величиною*: він характеризується лише числовим значенням — тиск не має напрямку.

Саме тиск, а не сила тиску, визначає, чи провалиться людина в сніг.

14.1. Наведіть різні приклади застосування явища інерції.

14.2. У скільки разів знижується тиск, коли людина надіває лижі? Для спрощення обчислень припустимо, що підошва дорослої людини — це прямокутник зі сторонами 30 см і 10 см, а лижа — прямокутник зі сторонами 210 см і 10 см.[1]

14.3. Доведіть, що одиницею тиску СІ є $Н/м^2$.

---

[1] *Відповідь.* У 7 разів.

Ця одиниця тиску отримала назву *паскаль* (Па) — на честь французького вченого Блеза Паскаля, який відкрив закон, пов'язаний з тиском, про який ми поговоримо далі. Також використовують кілопаскаль (кПа): 1 кПа = 1000 Па.

1 Па — за «людськими» мірками дуже малий тиск. Щоб «відчути» цей тиск, розв'яжіть таку задачу.

14.4. Маса 1 $м^2$ аркуша щільного паперу становить 100 г.

а) Чому дорівнює вага цього аркуша?

б) Який тиск чиниться на цей аркуш, коли він лежить на столі?

в) Аркуш розрізали на 10 частин, які мають рівні площі. Який тиск на стіл чинитиме кожен з отриманих клаптиків?

г) Чи зміниться відповідь на попереднє запитання, якщо розрізати аркуш на частини *різної* площі?[1]

14.5. Оцініть, який тиск на підлогу чинить людина, що стоїть на підлозі. Для оцінки припустимо, що маса людини становить 60 кг, а площа кожної підошви — 150 $см^2$.[2] [3]

2. Способи зменшення і збільшення тиску

У деяких випадках необхідно *зменшити* тиск — наприклад, для автомобіля, що їде по м'якому ґрунту. З цією метою *збільшують площу дотику* коліс із дорогою — ось чому всюдиходи мають такі великі й широкі колеса (мал. 14.2).



Мал. 14.2

14.6. Для чого потрібні гусениці в тракторі?

---

[1] *Відповідь*. а) 1 Н. б) 1 Па. в) 1 Па. г) Не зміниться.

[2] *Порада*. Врахуйте, що людина стоїть на двох ногах.

[3] *Відповідь*. 20 кПа.

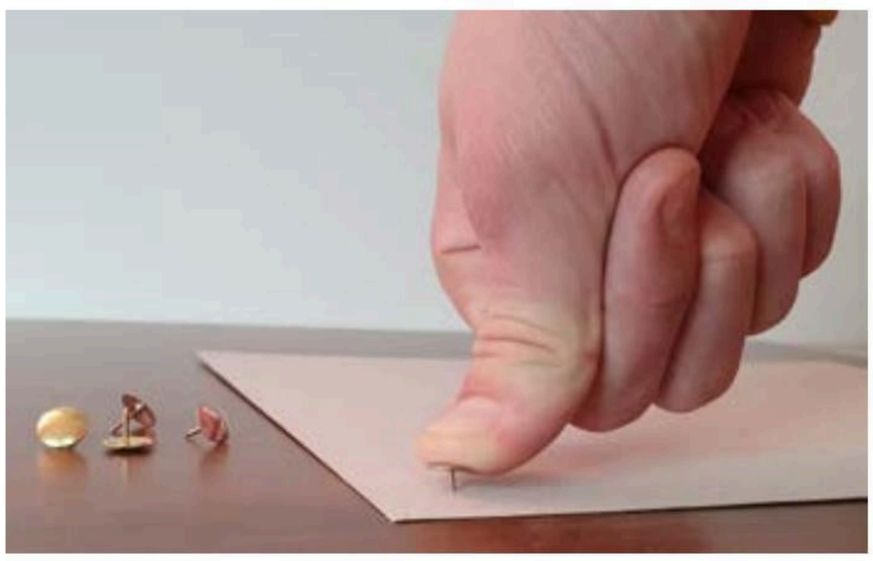
В інших випадках потрібно *збільшити* тиск — для цього зменшують площу, на яку діє сила тиску. Ножі, наприклад, заточують для того, щоб зменшити площу, на яку діє сила тиску, — внаслідок цього тиск збільшується.

Проведемо дослід

Якщо натиснути пальцем на дошку, не залишиться навіть вм'ятини (мал. 14.3). Чому ж кнопка входить в дерево за такої самої сили тиску (мал. 14.4)?



Мал. 14.3



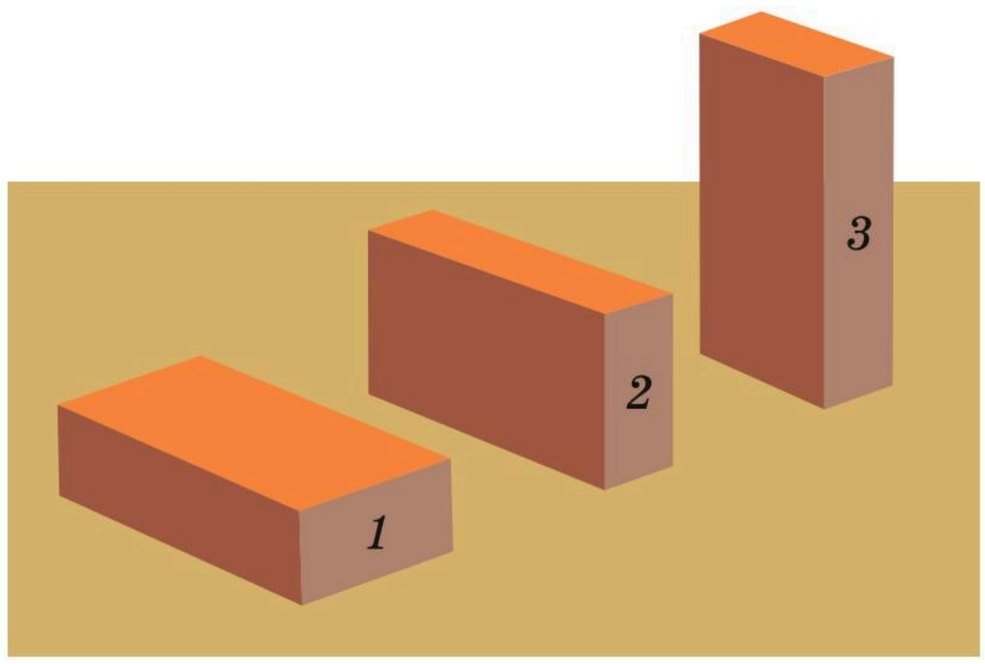
Мал. 14.4

14.7. На столі три однакові цеглини (мал. 14.5). Ширина цегли у 2 рази менша від її довжини і у 2 рази більша за її товщину.

а) Яка цегла тисне на стіл з найбільшою силою? З найменшою?

б) Яка цегла чинить найбільший тиск на стіл? Найменший?

в) У скільки разів найбільший тиск більший за найменший?[1]



Мал. 14.5

[1] *Відповідь.* а) Усі цеглини тиснуть на стіл з однаковою силою. б) Третя цеглина чинить найбільший тиск на стіл, перша цеглина — найменший. в) У 4 рази.

Про що ми дізнались?

- *Тиском* p називають відношення модуля сили тиску F, що діє на певну площу S поверхні, до цієї площі: $p = \dfrac{F}{S}$.
- За однакової сили тиску тиск зменшується, якщо збільшується площа, на яку діє ця сила, і збільшується, якщо площа зменшується.
- Одиницею тиску СІ є *паскаль*: 1 Па = 1 Н/м^2.

Домашній експеримент

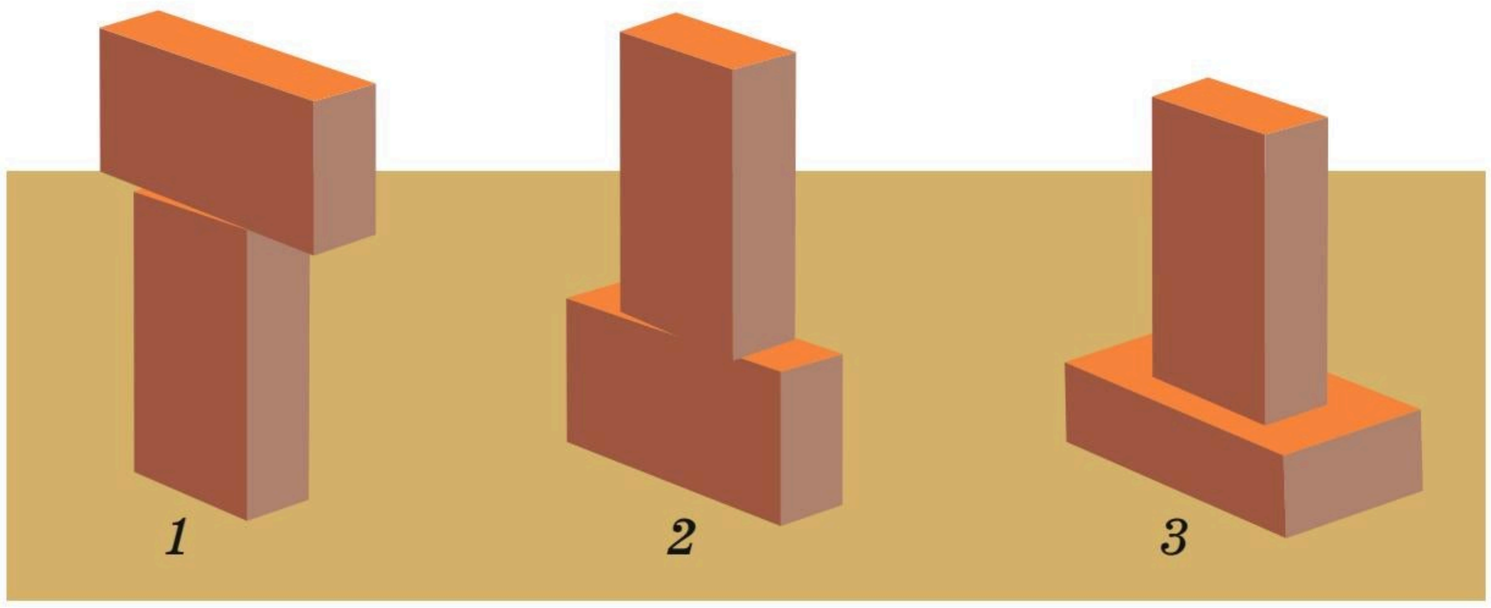
14.8. Як можна використовувати лінійку й підлогові ваги для вимірювання тиску, який чинять ніжки стільця на підлогу, якщо стілець не поміщається на вагах? Стисло опишіть свій дослід і запишіть результат.[1]

Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

14.9. Чому туристичні наплічники мають широкі лямки?

14.10. Дві однакові цеглини кладуть на стіл трьома різними способами (мал. 14.6). Довжина цегли вдвічі більша за її ширину, а ширина вдвічі більша за її висоту. Порівняйте сили тиску і значення тиску для цих конфігурацій цеглин.



Мал. 14.6

[1] *Порада.* Зважтеся спочатку самі, а потім зі стільцем у руках.

14.11. Як зміниться тиск, якщо силу тиску збільшити у 2 рази, а площу, на яку діє ця сила, збільшити в 4 рази?

14.12. Який тиск чинить на стіл куб, маса якого дорівнює 5 кг, з довжиною ребра 10 см?

14.13. У каструлю з площею дна 5 $дм^2$ налили 2 л води. Як змінився тиск каструлі на стіл?

Достатній рівень

14.14. Коли школяр, маса якого 48 кг, стоїть на лижах завширшки 6 см, він чинить тиск, що дорівнює 2,5 кПа. Чому дорівнює довжина відбитка, який кожна лижа залишає на снігу?

14.15. Людина, маса якої 54 кг, стає ногами на табуретку, маса якої 6 кг. Ніжки табуретки виготовлені з брусків із квадратним перерізом зі стороною 5 см. Який тиск чинить табуретка на підлогу?

14.16. Як зміниться тиск, який чинить на стіл суцільний мідний циліндр, якщо збільшити удвічі:
а) висоту циліндра;
б) діаметр циліндра;
в) діаметр і висоту циліндра одночасно?

Високий рівень

14.17. У порожню банку, маса якої 500 г, налили 2 л води. При цьому тиск банки на стіл збільшився на 4 кПа.
а) Яким став тиск банки на стіл?
б) Яка площа дотику між дном банки і столом?

14.18. Чому дорівнює маса мідного куба, якщо він чинить на стіл тиск 4 кПа?[1]

14.19. Який тиск чинить на підлогу соснова дошка завтовшки 5 см?

14.20. Скляний лист чинить на стіл тиск, що дорівнює 100 Па. Чому дорівнює товщина листа?

14.21. Який тиск чинить циліндрична гранітна колона на ґрунт, якщо радіус колони становить 30 см, а висота — 6 м? Чи є в умові зайві дані?

---

[1] *Порада.* Виразіть тиск, який чинить куб, через густину речовини, з якого зроблений куб, і довжину ребра куба.

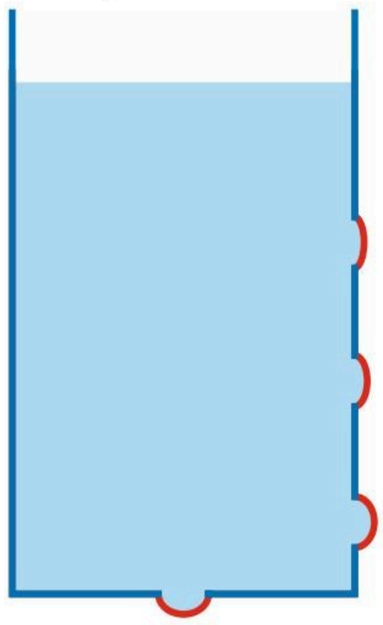
§ 15. ТИСК РІДИН І ГАЗІВ. ЗАКОН ПАСКАЛЯ

1. Тиск рідини.
2. Тиск газу.
3. Закон Паскаля.
4. Манометри.

1. Тиск рідини

Проведемо дослід

Ми зробимо отвори у дні й стінках посудини і закриємо їх водонепроникними плівками. Якщо налити в таку посудину води, *усі* плівки — і в дні, і в стінках — випнуться назовні (мал. 15.1).



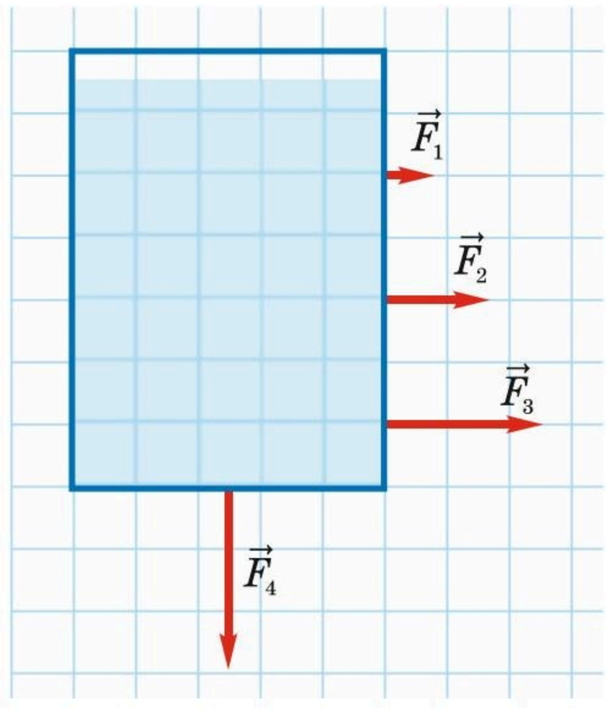
Мал. 15.1

З цього можна зробити висновок, що рідина тисне не лише на дно посудини, а й на її *стінки*. Таким чином, тиск рідини значно відрізняється від тиску, який чинить тверде тіло: якщо поставити в посудину, наприклад, брусок, він тиснутиме тільки на дно посудини.

Тиск рідини на стінки посудини зумовлений тією самою властивістю рідини, завдяки якій вона набуває форми посудини. Ця властивість — *текучість*. Під впливом сили тяжіння рідина має властивість розтікатися, але стінки судини утримують її, змушуючи приймати форму посудини. При цьому стінки посудини тиснуть на рідину, а рідина тисне на стінки посудини.

Як напрямлена сила тиску?

Тиск, як ви вже знаєте, є скалярною величиною, але сила тиску, як і будь-яка сила, є векторною величиною. Сила тиску на будь-яку ділянку поверхні, на яку чинить тиск рідина, напрямлена *перпендикулярно* до цієї поверхні. Сили тиску рідини на різні ділянки поверхні *тієї самої області* схематично показані на малюнку 15.2.



Мал. 15.2

Ви, напевно, помітили: на малюнку вид-

но, що зі збільшенням глибини тиск рідини збільшується. Детальніше ми розглянемо це далі.

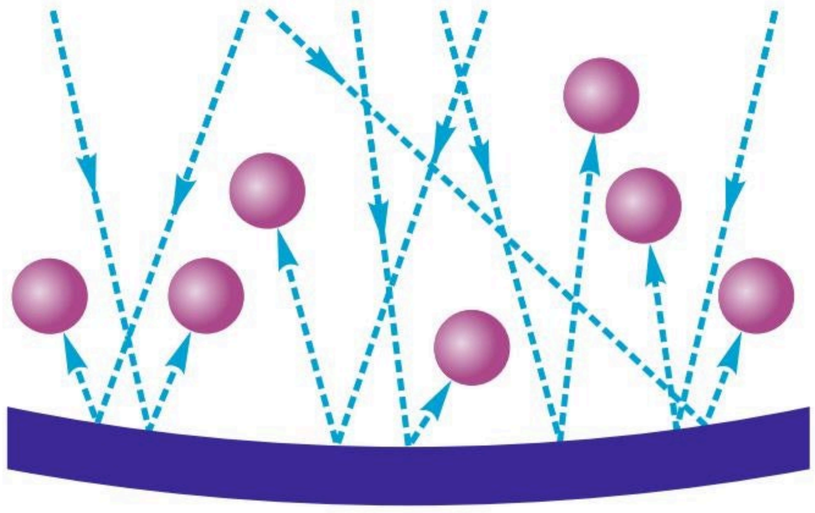
2. Тиск газу

Проведемо дослід

Стисніть надуту повітряну кульку або м'яч руками: ви відчуєте, що повітря в кулі або в м'ячі *тисне* на стінки (мал. 15.3).



Мал. 15.3



Мал. 15.4

Тиск газу зумовлений не взаємодією молекул (як у випадку твердого тіла й рідини), а *рухом* молекул. Як ви вже знаєте, молекули газу перебувають на відносно великих відстанях одна від одної (порівняно з розмірами самих молекул) і безупинно хаотично рухаються. Дуже часті удари молекул об стінку посудини проявляються у вигляді безперервного тиску з постійною силою (мал. 15.4).

Це пояснює, чому при стисненні газу його тиск підвищується — частішають удари молекул, а також за підвищення його температури — збільшується швидкість хаотичного руху молекул.

Як і у випадку з рідиною, сила тиску газу на будь-яку ділянку поверхні *перпендикулярна* до цієї ділянки.

3. Закон Паскаля

Проведемо дослід

З'єднаймо трубку з поршнем зі сферою, в стінках якої зроблені невеликі отвори. Наберемо в трубку воду і почнемо тиснути на поршень. При цьому цівки води почнуть бити *навсібіч* з отворів у сфері (мал. 15.5).



Мал. 15.5

Такий експеримент можна поставити не лише для рідини, а й для газу — наприклад, повітря. Для того щоб повітряні потоки, що виходять з отворів у сфері, було видно, повітря «підфарбовують» димом.

Ці експерименти показують, що

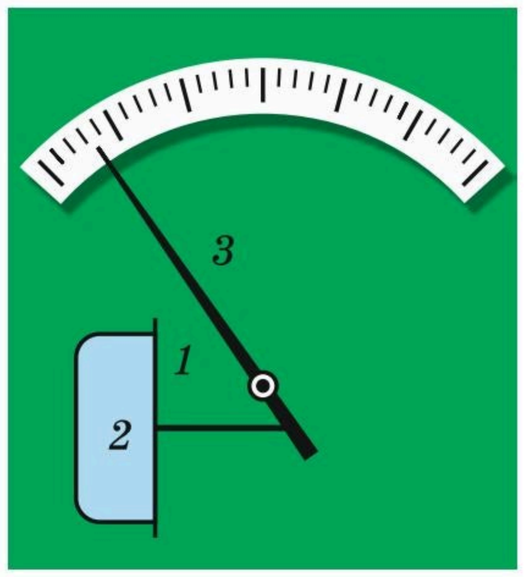
> тиск, який здійснюють зовнішні сили на рідину або газ, передається без змін у кожну точку рідини або газу.

Цю властивість рідини і газу називають законом Паскаля, тому що вона була встановлена дослідним шляхом уже знайомим вам французьким ученим Блезом Паскалем.

Закон Паскаля зумовлений *рухливістю* молекул рідини і газу: молекули рідини або газу блискавично рухаються в посудині з ділянки з більш високим тиском до ділянки з меншим тиском, вирівнюючи тиск в усій посудині.

4. Манометри

Прилад, за допомогою якого вимірюють тиск рідини або газу, називають манометром. На малюнку 15.6 представлена схема найпростішого манометра. Ящик *2* помістили в посудину з рідиною або газом, тиск якого потрібно виміряти. Рідина або газ тисне на еластичну мембрану *1*. Мембрана з'єднана зі стрілкою *3*, яка вказує значення тиску на шкалі приладу.



Мал. 15.6

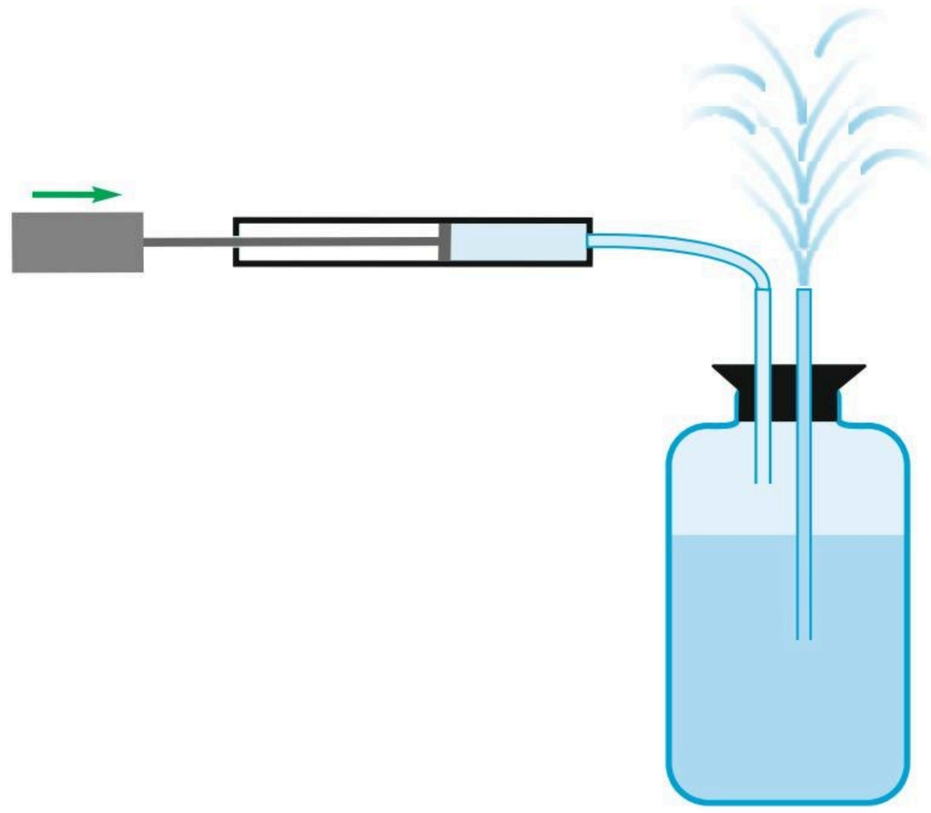
Про що ми дізнались?

- Рідина тисне на дно і стінки посудини.
- Сила тиску рідини або газу на будь-яку ділянку поверхні перпендикулярна до цієї ділянки.
- Тиск газу на стінку посудини відбувається за рахунок дії на стінку молекул газу, які хаотично рухаються.

- *Закон Паскаля*: тиск, який зовнішні сили чинять на рідину або газ, передається без змін в кожну точку рідини або газу.
- Тиск рідин і газів вимірюють *манометрами*.

Домашній експеримент

15.1. Зробіть саморобний фонтанчик, використовуючи малюнок 15.7. Поясніть принцип роботи такого фонтанчика.



Мал. 15.7

Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

15.2. Поясніть, чому рідина тисне не лише на дно, а й на стінки посудини.

15.3. Як напрямлена сила тиску повітря на стелю?

15.4. У чому причина тиску газу?

15.5. Сформулюйте закон Паскаля. Як на власному досвіді переконатися в справедливості цього закону?

Достатній рівень

15.6. Чому закон Паскаля справедливий лише для рідин і газів?

15.7. Для чого потрібен манометр? Розкажіть коротко про принцип роботи цього приладу.

15.8. З якою силою потрібно натиснути на поршень, площа якого дорівнює $10\ см^2$, щоб створити під поршнем тиск повітря 100 кПа?

§ 16. ЗАЛЕЖНІСТЬ ТИСКУ РІДИНИ ВІД ГЛИБИНИ. ЗАКОН СПОЛУЧЕНИХ ПОСУДИН

1. Залежність тиску рідини від глибини.

2. Закон сполучених посудин.

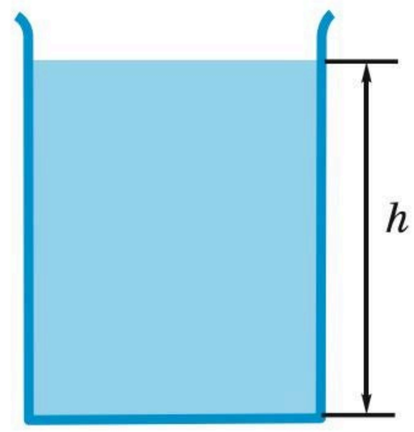
3. Застосування закону сполучених посудин.

1. Залежність тиску рідини від глибини

У попередньому параграфі ми розглянули дослід, який показує, що тиск рідини збільшується з глибиною. Таке підвищення тиску пов'язане з тим, що верхні шари рідини тиснуть своєю вагою на нижні шари.

Щоб вивести формулу, яка описує залежність тиску рідини від глибини, можна знайти тиск рідини на дно посудини з рідиною.

Хай рідину, густина якої дорівнює ρ, налито в циліндричну посудину до висоти h. Тоді модуль F сил тиску рідини на дно посудини дорівнює модулю ваги P рідини. Отже, тиск $p = \frac{P}{S}$, де S — площа дна посудини.



Вага рідини $P = mg$, де m — маса рідини, налитої в посудину. Ми вже знаємо, що масу m можна виразити через густину ρ і об'єм V за допомогою формули $m = \rho V$. Об'єм V рідини в циліндричній посудині можна виразити через площу дна *посудини* S і висоту стовпчика рідини h за *формулою* $V = Sh$.

Підставляючи отримані вирази у формулу тиску $p = \frac{P}{S}$, отримуємо:

$$p = \frac{P}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Vg}{S} = \frac{\rho Shg}{S} = \rho gh .$$

Таким чином,

тиск рідини з густиною ρ на глибині h обчислюють за формулою

$$p = \rho gh .$$

Цей тиск називають *гідростатичним*, тому що він зумовлений лише вагою рідини.

Якщо на поверхню рідини чиниться зовнішній тиск $p_{\text{зовн}}$ (це може бути, наприклад, тиск поршня або тиск атмосфери, про що ми поговоримо далі), то тиск рідини на глибині h виражають формулою $p = \rho g h + p_{\text{зовн}}$.

16.1. Чому дорівнює гідростатичний тиск у воді на глибині 100 м?[1]

16.2. Яка висота ртутного стовпчика, що створює такий самий гідростатичний тиск, як стовп води заввишки 10 м?[2]

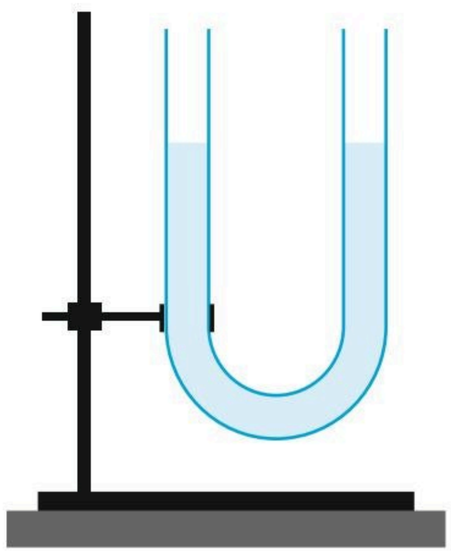
2. Закон сполучених посудин

Проведемо дослід

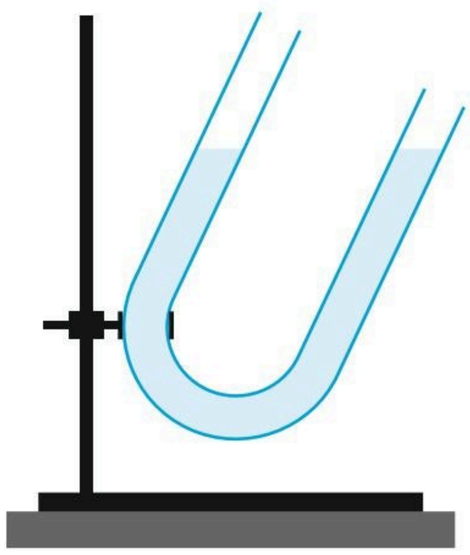


Закріпимо так звану U-подібну скляну трубку в штативі (мал. 16.1). Дві частини такої трубки називають *колінами*: вони є *сполученими посудинами* — так називають посудини, у яких рідина може вільно переміщатися з однієї в іншу.

Якщо рідину налити в будь-яке коліно трубки, вона частково перелллється в інше коліно так, що поверхня рідини в обох колінах буде весь час *перебувати на одному рівні*.



Мал. 16.1



Мал. 16.2

Поверхня рідини в колінах трубки залишиться *на одному рівні* навіть за її нахилу (мал. 16.2).

---

[1] *Відповідь*. 10 МПа.

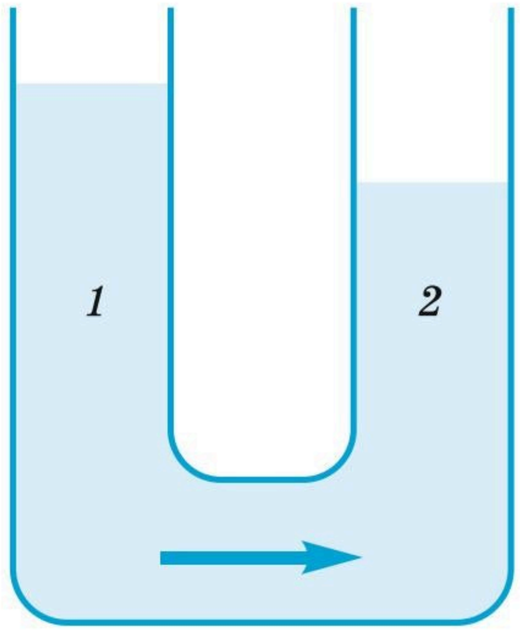
[2] *Відповідь*. 76 см.

Зробимо висновок з наших експериментів:

> у сполучених посудинах поверхня рідини розміщується на одному рівні.

Це — *закон сполучених посудин*.

Покажемо, що цей закон зумовлений текучістю рідини, а також тим, що тиск рідини збільшується зі збільшенням глибини.



Мал. 16.3

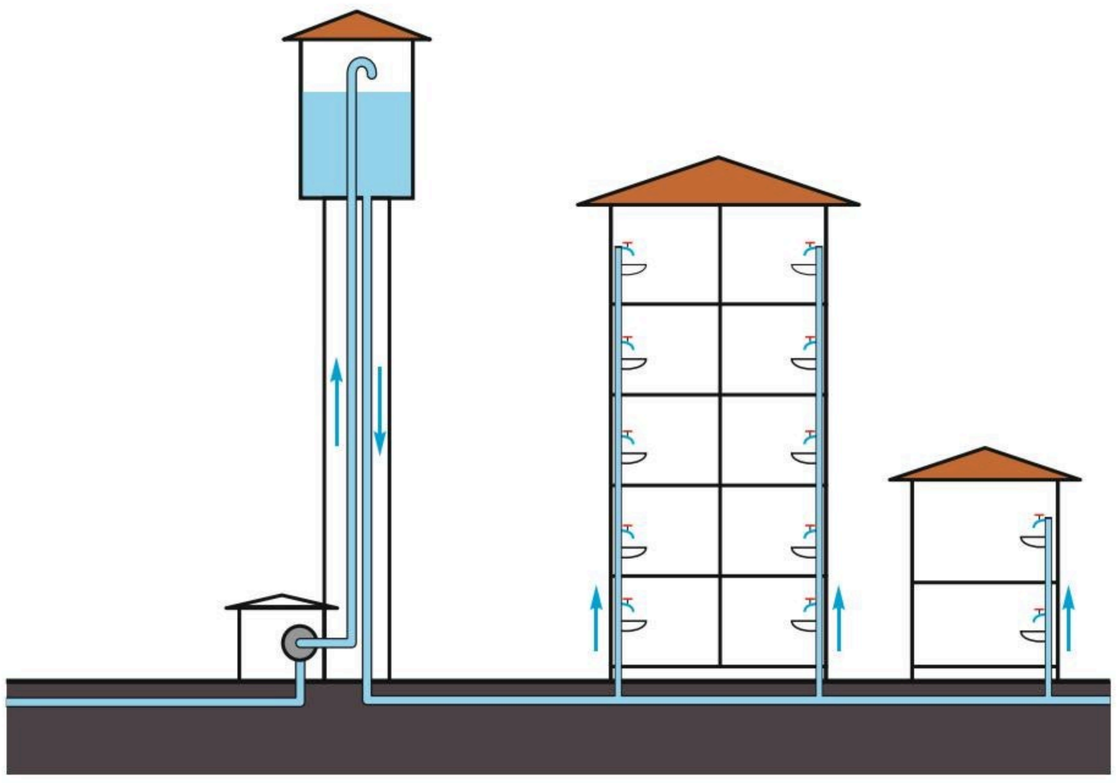
Припустимо, в одній зі сполучених посудин поверхня рідини в початковий момент розташована на вищому рівні — наприклад, у лівій посудині на малюнку 16.3.

Тоді тиск рідини на дні цієї посудини більший, ніж на дні другої посудини, у результаті чого на об'єм рідини в з'єднувальній трубці діятиме сила, напрямлена праворуч. Під дією цієї сили рідина буде перетікати з лівої посудини в праву доти, доки поверхня рідини в посудинах не розміститься *на одному рівні*.

3. Застосування закону сполучених посудин

Водогін

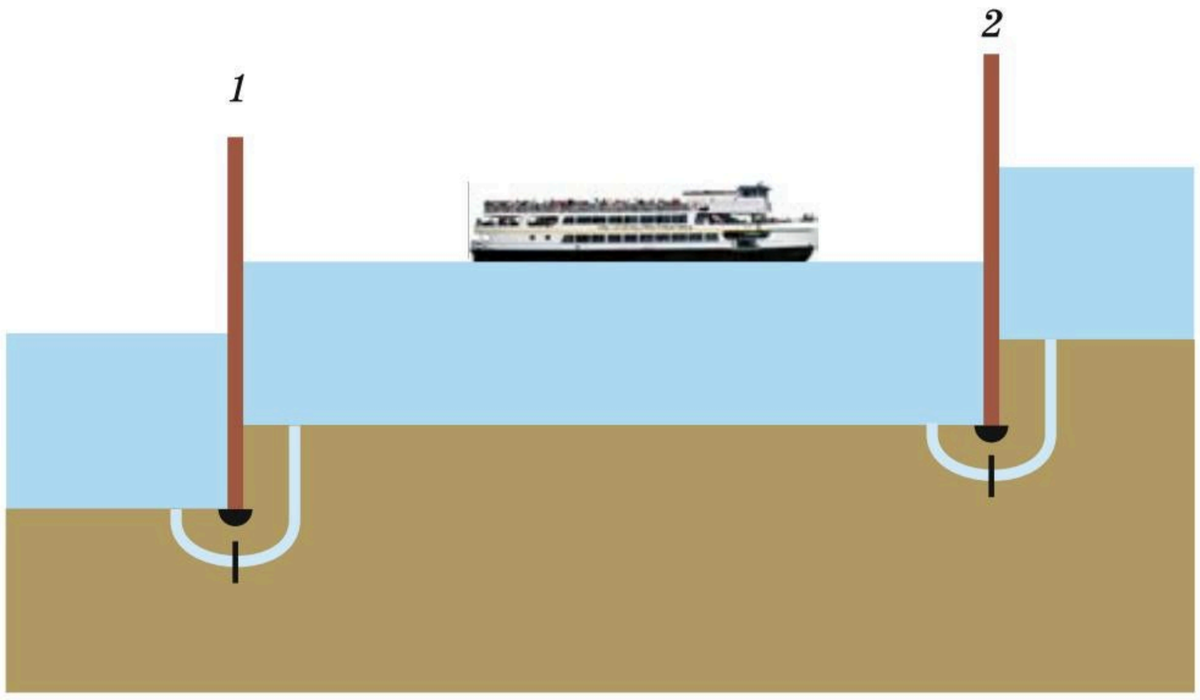
На малюнку 16.4 схематично зображено систему водопостачання в невеликому населеному пункті. Воду закачують до високого резервуара. З цієї ємності вода надходить у будинки, згідно із законом сполучених посудин.



Мал. 16.4

Шлюзи

Для роботи гідроелектростанцій за допомогою греблі, що перегороджує річку, створюють перепад рівнів води. Для проходу суден поруч із греблею роблять *шлюзи*, дія яких також ґрунтується на законі сполучених посудин (мал. 16.5).



Мал. 16.5

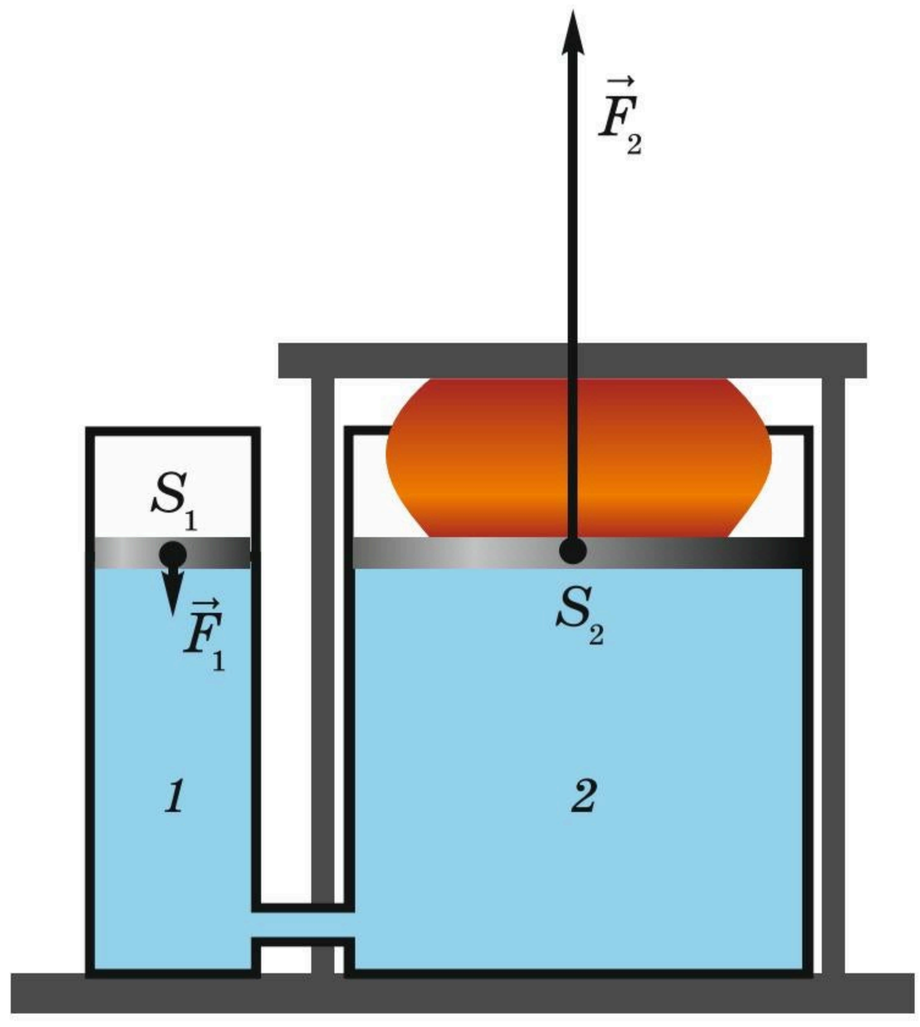
Камери відокремлені одна від одної щільно зачиненими воротами. Судно може перепливати з однієї камери в сусідню тільки в тому випадку, якщо рівні води в цих камерах *однакові*. Для вирівнювання рівнів води в камерах ворота між ними трохи піднімають, у результаті чого ці камери стають *сполученими посудинами*.

16.3. У якій послідовності потрібно відчиняти і підіймати ворота *1* і *2*, щоб судно, зображене на малюнку 16.5, пройшло через ворота *2*?

Гідравлічний прес

Використовуючи закон Паскаля і закон сполучених посудин, можна отримати виграш у силі за допомогою *гідравлічного преса*.

Схема гідравлічного преса зображена на малюнку 16.6. Заповнені рідиною і з'єднані трубкою циліндри *1* і *2* є сполученими посудинами. До того ж площа поршня S_2 в другому циліндрі значно більша за площу поршня S_1 у першому циліндрі.



Мал. 16.6

Коли на поршень у вужчому циліндрі тиснуть униз із силою, модуль якої дорівнює F_1, тиск у рідині дорівнює $p = \frac{F_1}{S_1}$. За законом Паскаля цей тиск передається в усі точки рідини, тому на поршень у широкому циліндрі діятиме напрямлена вгору сила, модуль якої $F_2 = pS_2 = \frac{F_1 S_2}{S_1}$. Звідси випливає, що відношення сил, які діють на поршні, пропорційне відношенню площ поршнів: $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$. Оскільки .., то маємо, що .., тобто виграш у силі.

Гідравлічні преси широко використовують у техніці: наприклад, для штампування виробів, у виробництві олії, жирів, гуми.

Про що ми дізнались?

- Тиск рідини збільшується із глибиною. На глибині h тиск виражають формулою $p = \rho g h$, де ρ — густина рідини.
- *Закон сполучених посудин*: у сполучених посудинах, у які налита та сама рідина, поверхня рідини розміщується на одному рівні.

Домашній експеримент

16.4. Використовуючи закон сполучених посудин, зробіть самотужки рівень. Для цього з'єднайте гумовими трубочками дві пластикові пляшки з обрізаним дном. За допомогою цього рівня можна перевірити, наприклад, чи розміщені два цвяхи в стіні на одній горизонталі.

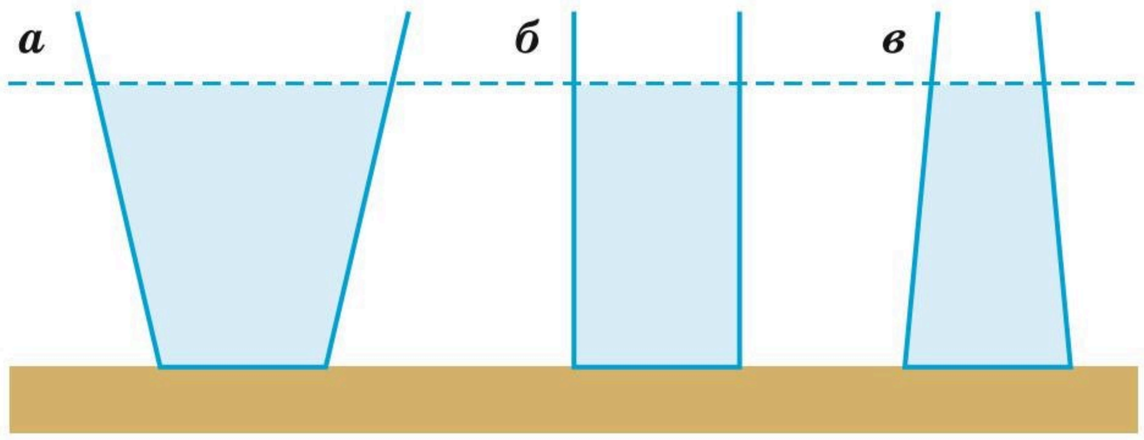
Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

16.5. Поясніть, чому тиск у рідині збільшується зі збільшенням глибини.

16.6. Якою формулою виражають залежність тиску в рідині від глибини?

16.7. Порівняйте значення тиску, що здійснює вода на дно кожної з посудин, показаних на малюнку 16.7. Чи однакова вага води в цих посудинах? Площа дна усіх посудин однакова.



Мал. 16.7

16.8. Гідростатичний тиск у рідині на глибині 12 см становить 852 Па. Що це може бути за рідина?

Достатній рівень

16.9. У циліндричну посудину з площею дна 100 см^2 налили 3 л води. Який тиск біля дна посудини?

16.10. Ртуть, воду й моторну оливу налили в циліндричну посудину. Товщина шару кожної рідини — 10 см. Який тиск рідин на дно посудини?

16.11. Чи зміниться тиск води на дно бака, якщо на поверхню води помістити дерев'яний брусок, коли:
а) бак заповнений на половину свого об'єму;
б) бак заповнений водою до країв?[1]

16.12. Гідростатичний тиск води на дні басейну становить 20 кПа. Яка маса води в басейні, якщо його довжина дорівнює 25 м, а ширина — 5 м?

16.13. Акваріум кубічної форми наповнений вщерть водою. Який гідростатичний тиск на дні акваріума, якщо маса води становить 1 т?

Високий рівень

16.14. Циліндр заввишки 20 см доверху заповнений ртуттю і водою. Який гідростатичний тиск на дно посудини, якщо однакові:
а) об'єми рідин; б) маси рідин?

16.15. У колінах U-подібної трубки містяться вода і гас. Висота стовпчика гасу — 20 см.
а) Що вище: рівень води чи рівень гасу?
б) Яка різниця рівнів рідини в колінах?[2]

16.16. Акваріум заввишки 40 см наповнений вщерть водою. З якою силою вода тисне на стінку акваріума, якщо ширина стінки 60 см?[1]

---

[1] *Порада.* Врахуйте, що тиск залежить тільки від висоти стовпа рідини.

[2] *Порада.* Скористайтеся тим, що на рівні розділу рідин тиск в обох колінах трубки однаковий.

§ 17. АТМОСФЕРНИЙ ТИСК

1. Атмосферний тиск.

2. Як його можна виявити дослідним шляхом і як виміряти тиск атмосфери?

3. Надійний щит.

1. Атмосферний тиск

Ми живемо на дні величезного повітряного океану, який оточує земну кулю. Повітряну оболонку Землі називають атмосферою. Вона простягнулася на сотні кілометрів і не має чіткої межі. На малюнку 17.1 зображена фотографія атмосфери Землі, зроблена з космосу.



Мал. 17.1



Мал. 17.2

Через тяжіння атмосфера оточує поверхню Землі і чинить на неї тиск своєю вагою. Відповідно до закону Паскаля, тиск атмосфери передається у всіх напрямках.

Тиск чималий: наприклад, сила атмосферного тиску на поверхню вашої долоні приблизно дорівнює вазі дорослої людини (мал. 17.2).

За законом Паскаля, атмосфера чинить такий тиск на відкриту долоню навіть тоді, коли вона повернута *вниз*!

17.1. Як сила тиску атмосфери напрямлена до стелі? Чому стеля не рухається під дією цієї сили?

---

[1] *Порада.* Щоб знайти силу тиску на всю стінку, візьміть тиск води на висоті, що дорівнює половині висоти стінки.

Здавалося б, такий значний тиск атмосфери повинен сплюснути кожного з нас. На щастя, цього не відбувається — адже рідини й гази, що містяться в наших тканинах, також перебувають під тиском, що приблизно дорівнює атмосферному.

2. Як його можна виявити дослідним шляхом і як виміряти тиск атмосфери?

Найпростіший дослід виявлення тиску ви можете зробити самостійно, і вам не потрібне жодне обладнання.

Проведемо дослід

Втягніть щоки (мал. 17.3).

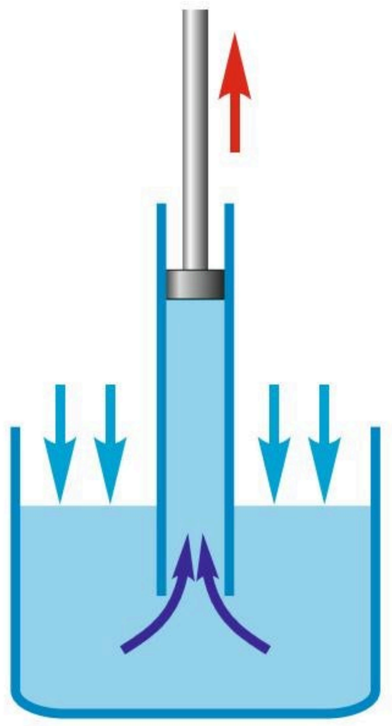
А тепер запитайте себе: *чому* щоки втягнулися? І чи доречно тут слово «втягнути»? Чи є щось, *що тягне за щоки* зсередини?

Щоки фактично не «втягувалися», а «вдавлювалися»: їх вдавив тиск атмосфери.

Також за рахунок атмосферного тиску піднімається вода в трубці, якщо піднімати поршень (мал. 17.4).



Мал. 17.3



Мал. 17.4

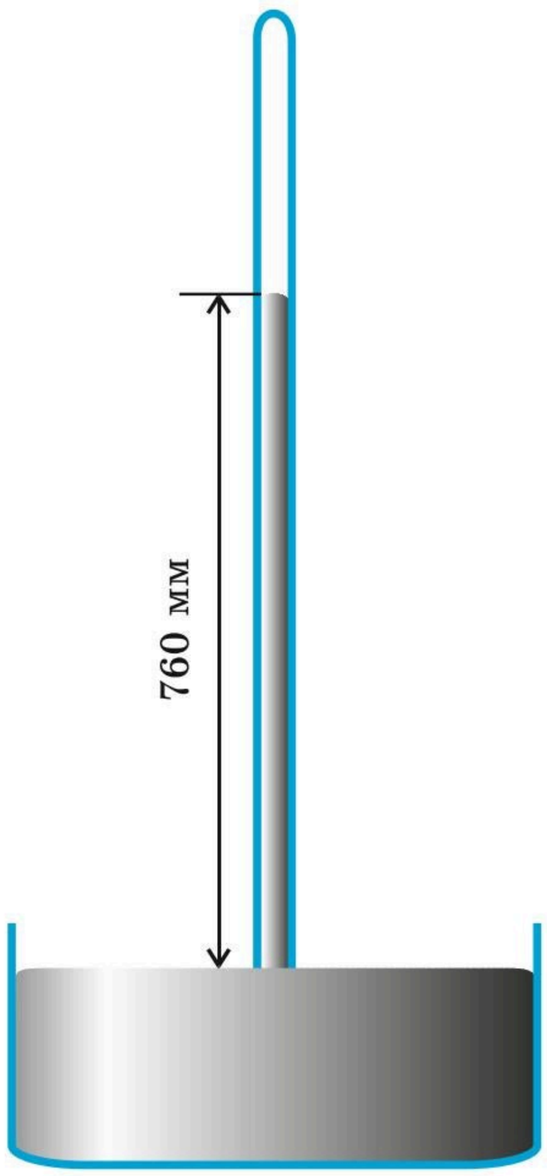
Сині стрілки на цьому малюнку схематично зображують тиск атмосфери — вона «заштовхує» воду в трубку, коли поршень піднімають.

Дослід Торрічеллі

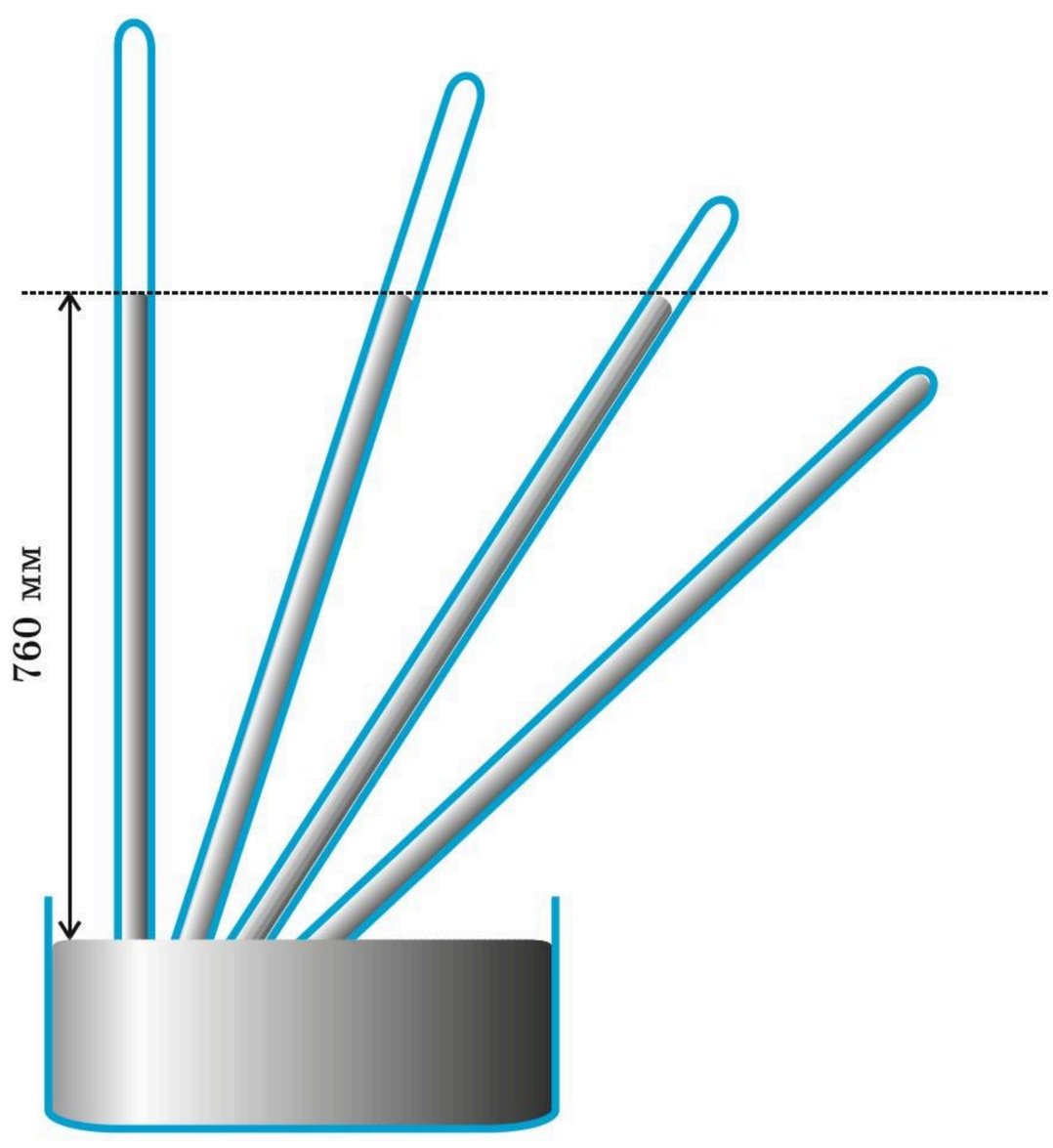
Італійський фізик і математик Еванджеліста Торрічеллі, учень Галілея, запропонував такий експеримент.

Запаяну з одного кінця скляну трубку завдовжки приблизно 1 м заповнювали ртуттю, після чого відкритий кінець трубки тимчасово закоркували. Потім трубку перевернули і закоркований кінець трубки занурили в чашу із ртуттю.

Коли ж нижній кінець трубки відкоркували, на подив багатьох, ртуть не вилилася з трубки повністю: у ній залишився стовп ртуті заввишки приблизно 760 мм (мал. 17.5).



Мал. 17.5



Мал. 17.6

Під час нахиляння трубки рівень ртуті в ній залишався на *тому самому рівні* 760 мм, допоки вся трубка не заповнювалася ртуттю (мал. 17.6).

Ртуть не вилилася з трубки через тиск *атмосфери на поверхню ртуті в чаші* (порівняйте з нашим попереднім дослідом втягування води в трубку поршнем).

Торрічеллі здогадався, що цей експеримент, названий пізніше його іменем, може бути використаний для *вимірювання* тиску атмосфери.

Ртуть у трубці перебуває в рівновазі під дією двох сил: 1) напрямленої вниз сили тяжіння mg, де m — маса ртуті в трубці; 2) напрямленої вгору сили тиску $F_т$ з боку ртуті в чаші, зумовленої тиском атмосфери. Тому ці сили рівні за модулем: $F_т = mg$.

Сила тиску $F_т = p_а S$, де S — площа поперечного перерізу трубки.

Маса ртуті в трубці, $m = \rho_{рт} Sh$ де $\rho_{рт}$ — густина ртуті, h — висота ртутного стовпчика.

Звідси отримуємо: $F_т = mg \Rightarrow p_а S = \rho_{рт} Shg \Rightarrow p_а = \rho_{рт} gh$.

Отже, *атмосферний тиск виражається через висоту ртутного стовпчика в експерименті Торрічеллі формулою*

$$p_а = \rho_{рт} gh .$$

Використовуючи це, атмосферний тиск можна вимірювати висотою ртутного стовпчика. Тривалий час так і робили. І сьогодні у прогнозах погоди значення атмосферного тиску часто подають у міліметрах ртутного стовпчика (мм рт. ст.).

Нормальним атмосферним тиском вважають тиск, створюваний ртутним стовпчиком заввишки 760 мм.

17.2. Подайте нормальний атмосферний тиск у паскалях.[1] [2]

Розв'язуючи шкільні задачі, для спрощення розрахунків беруть $p_a = 100$ кПа.

17.3. З якою силою атмосферний тиск діє на поверхню 1 см^2?[3]

Так, на кожен квадратний сантиметр поверхні атмосфера тисне із силою, що дорівнює вазі кілограмової гирі.

17.4. Аркуш щільного паперу, що лежить на столі, чинить тиск, що приблизно дорівнює 1 Па. Яку висоту повинна мати стопка паперу, щоб вона чинила тиск, що дорівнює нормальному атмосферному тиску? Вважайте, що товщина аркуша дорівнює 0,1 мм.[4]

17.5. Знайдіть висоту стовпа води, який створює тиск, що дорівнює нормальному атмосферному?[5]

17.6. Який тиск в озері на глибині 10 м з урахуванням атмосферного тиску?[6]

17.7. Площа стільниці — 1 м^2.

а) Яка сила атмосферного тиску на стільницю? Порівняйте її з вагою автомобіля, маса якого становить 1 тонну.

б) Чому сила атмосферного тиску не ламає стільницю?[7]

---

1 *Порада.* Скористайтеся формулою $p = \rho g h$ для тиску стовпа рідини.

2 *Відповідь.* 101000 Па.

3 *Відповідь.* 10 Н.

4 *Відповідь.* 10 м (приблизно висота триповерхового будинку).

5 *Відповідь.* 10 м.

6 *Відповідь.* 200 кПа.

7 *Відповідь.* а) 10^5 Н — це приблизно в 10 разів більше за вагу легкового автомобіля.
б) На стільницю знизу діє така сама сила атмосферного тиску, напрямлена вгору.

Барометр

Тиск вимірюють за допомогою приладу, який називають *барометром*. Це слово походить від грецьких «baros» — «тягар, вантаж» і «metreō» — «вимірюю».

Першими барометрами була вже знайома вам «трубка Торрічеллі» з нанесеною на неї шкалою, за якою вимірювали тиск в міліметрах ртутного стовпчика.

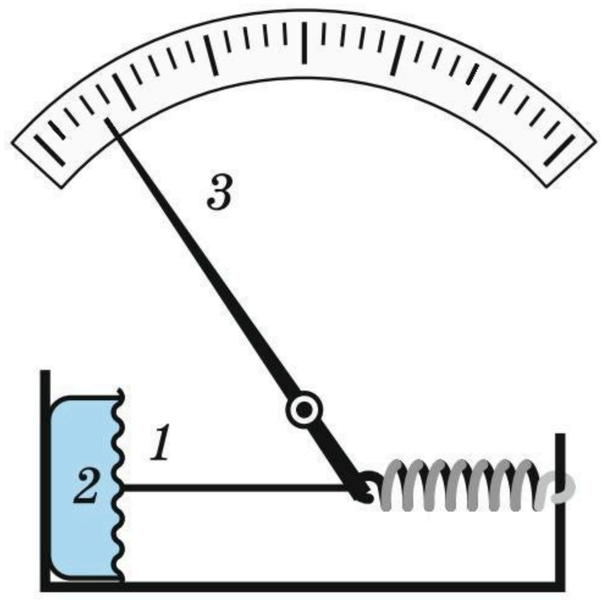
Такі барометри, однак, мали два суттєві недоліки. По-перше, вони були громіздкі й крихкі. А по-друге, пари ртуті дуже шкідливі для здоров'я людини.

З цих причин сьогодні використовують безпечні та зручні *барометри-анероїди* (у перекладі з грецької — «безрідинні»), які не містять рідини.

Малюнок 17.7 є фотографією барометра-анероїда, а малюнок 17.8 схематично показує його будову.



Мал. 17.7



Мал. 17.8

Гофрована (хвиляста) мембрана *1* закриває коробку *2*, з якої викачане повітря. Що більший атмосферний тиск, то сильніше прогинається мембрана. Стрілка 3, прикріплена до мембрани, показує значення атмосферного тиску на шкалі приладу.

Ви, напевно, помітили, що конструкція барометра-анероїда схожа на конструкцію манометра. Така схожість не випадкова: адже обидва ці прилади призначені для вимірювання *тиску*.

Залежність атмосферного тиску від висоти. Альтиметр

Атмосферний тиск з висотою зменшується, бо що вище ми піднімаємося, то меншу висоту матиме стовп повітря, розташований над нами.

Зменшення атмосферного тиску під час піднімання використовують у приладі для вимірювання висоти — *альтиметрі* (від лат. «альтус» — високий). Альтиметри раніше широко використовували в літаках, але зараз висоту вимірюють точнішими приладами, оскільки тиск атмосфери в даній точці залежить не тільки від висоти, а, наприклад, ще й від погоди.

Навіщо вимірювати атмосферний тиск

Учені давно помітили, що *погоду можна передбачити* за зміною атмосферного тиску. Зниження тиску зазвичай означає, що погода погіршиться, а підвищення тиску означає, що погода покращиться.

У чому причина взаємозв'язку між тиском і погодою? Річ у тім, що за зниження тиску в ділянку зниженого тиску потрапляє повітря із сусідніх ділянок. Воно піднімається вгору, розширюючись і охолоджуючись одночасно. При охолодженні повітря водяна пара, яка завжди є в повітрі, конденсується (перетворюється у воду): спочатку утворюються хмари, а потім із хмар утворюються дощові хмари.

У метеорологічних прогнозах указують тиск ще з однієї причини. Річ у тім, що багато людей «метеозалежні»: їхнє самопочуття залежить від погоди. Ті, у кого знижений артеріальний тиск, погано переносять зниження атмосферного тиску, а люди з підвищеним артеріальним тиском погано почуваються за підвищення атмосферного тиску.



3. Надійний щит

Атмосфера навколо нас, за всієї своєї м'якості, є надійним щитом.

По-перше, в атмосфері згоряють, не досягнувши поверхні Землі, *метеорні тіла* — невеликі космічні тіла. При цьому вони залишають на небі яскравий слід, тому раніше їх вважали «летючими зірками».

По-друге, атмосфера поглинає або відбиває сонячну радіацію, яка в надмірних дозах зашкодила б нам і всьому живому.

По-третє, атмосфера — чудова «шуба»: вона зігріває Землю, затримуючи тепло, що виходить від нагрітої Сонцем земної поверхні. Якби навколо Землі не було атмосфери, Земля була б дуже холодною.

Але, на жаль, замість вдячності, людина почала заподіювати шкоду атмосфері, спалюючи паливо у величезних масштабах. Деякі вчені вважають, що це може призвести до зміни клімату (так званого «глобального потепління»). У результаті рівень води в Світовому океані може помітно піднятися, деякі прибережні країни можуть бути затоплені, а родючі землі — перетворитися в пустелі.

Можливо, саме ваше покоління подбає про порятунок нашої планети.

Про що ми дізнались?

- Землю оточує повітряна оболонка — *атмосфера*.
- Унаслідок земного тяжіння атмосфера тисне на її поверхню і на всі тіла, розташовані поблизу поверхні Землі.
- Нормальний атмосферний тиск становить приблизно 100 кПа. Приблизно такий тиск створює стовп води заввишки 10 м або ртутний стовпчик заввишки 760 мм.
- В експерименті Торрічеллі ртуть не виливається з трубки, бо її там утримує тиск атмосфери на поверхню ртуті в чаші.
- Атмосферний тиск вимірюють *барометром*.
- Атмосферний тиск знижується перед погіршенням погоди і підвищується перед її покращенням.

Домашній експеримент

17.8. У скляну пляшку налийте воду і переверніть її. Вода буде виливатися з булькання. Потім наповніть поліетиленовий пакет водою і переверніть його: вода виллється без булькання. Поясніть цю відмінність.

17.9. Опустіть порожню банку у воду і зачерпніть в неї воду. Потім починайте піднімати банку з води догори дном. Поясніть, чому вода не виливається з банки.

Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

17.10. Розкажіть, як можна перевірити існування атмосферного тиску.

17.11. Опишіть дослід Торрічеллі. Якою була мета цього досліду?

17.12. На якій висоті ртутний стовпчик створює тиск, що дорівнює атмосферному? Яка висота відповідного стовпа води?

17.13. Чому дорівнює нормальний атмосферний тиск:
а) у міліметрах ртутного стовпчика?
б) у паскалях?

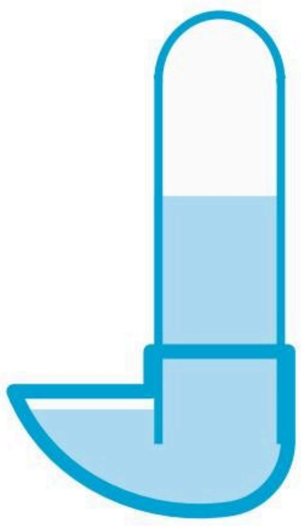
Достатній рівень

17.14. Чому не можна поршнем підняти воду вище 10 м?[1]

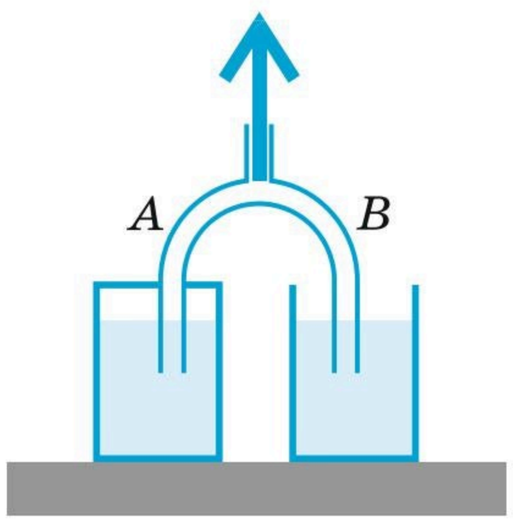
17.15. Розкажіть про те, як можна використовувати дослід Торрічеллі для вимірювання атмосферного тиску.

17.16. Поясніть, як працює барометр-анероїд.

17.17. На малюнку 17.9 зображена поїлка для птахів. Поясніть, принцип її дії.



Мал. 17.9



Мал. 17.10

17.18. Оцініть тиск, який чинять ваші підошви на підлогу, коли ви стоїте, і порівняйте отримане значення з атмосферним тиском.

Достатній рівень

17.19. Опишіть, що буде, якщо відкачати повітря з трубки, коліна якої занурені в посудини з водою A і B (мал. 17.10).

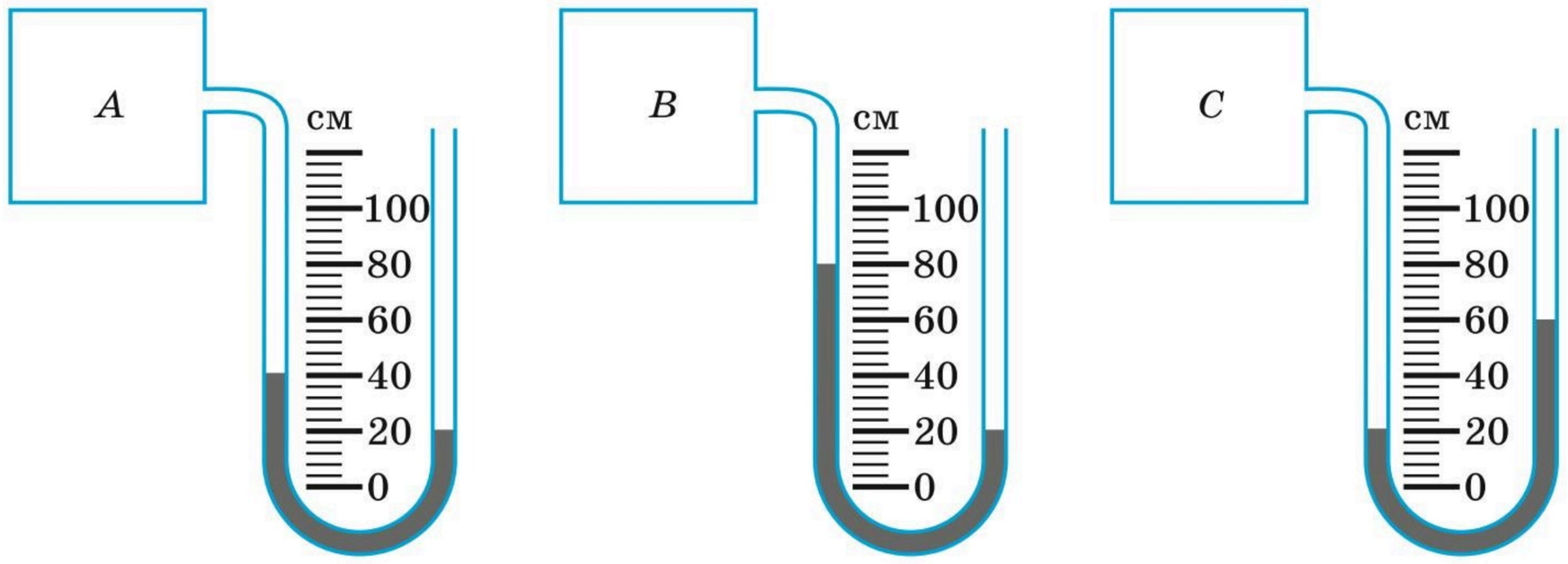
17.20. На якій глибині тиск в озері в 4 рази перевищує нормальний атмосферний тиск?

17.21. Чи можна «сховатися» від атмосферного тиску, повністю занурившись у воду? Поясніть свою відповідь.

---

[1] *Порада.* Стовп води заввишки 10 м створює тиск, що дорівнює тиску атмосфери.

17.22. Чому дорівнює тиск повітря в кожній з посудин A, B, C (мал. 17.11), якщо в трубці — ртуть? Вважайте, що тиск зовнішнього повітря дорівнює нормальному атмосферному тиску. Відповідь подайте в міліметрах ртутного стовпчика.

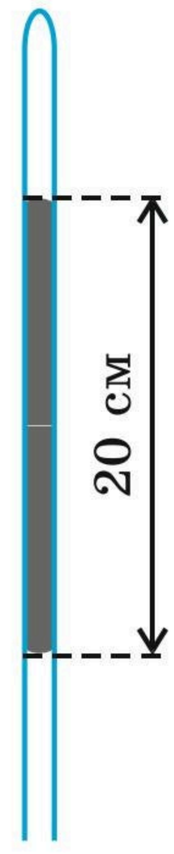


Мал. 17.11

17.23. У скляній трубці із запаяним верхнім кінцем є ртуть (мал. 17.12).

а) Чому ртуть не виливається з трубки?

б) Чому дорівнює тиск повітря над ртуттю, якщо тиск атмосфери дорівнює нормальному атмосферному? Подайте відповідь у міліметрах ртутного стовпчика.



Мал. 17.12

§ 18. ВИШТОВХУВАЛЬНА СИЛА В РІДИНАХ І ГАЗАХ. ЗАКОН АРХІМЕДА. ПЛАВАННЯ ТІЛ

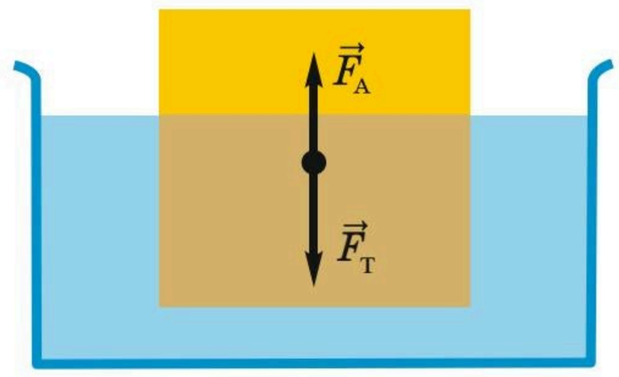
1. Виштовхувальна сила.
2. Закон Архімеда.
3. Гідростатичне зважування.
4. Плавання тіл.

1. Виштовхувальна сила

Проведемо дослід

Покладіть на воду дерев'яний брусок. Він *плаватиме* на поверхні води (мал. 18.1). Тому з боку води на брусок діє *напрямлена вгору* сила, яка зрівноважує силу тяжіння.

Цю силу називають *виштовхувальною силою*, або *силою Архімеда*, названою так на честь давньогрецького вченого, який першим її вивчив, і позначають $\vec{F}_{\text{А}}$.



Мал. 18.1

Щоб зрозуміти *фізичну природу* виштовхувальної сили, звернемо увагу на те, що на частини поверхні тіла, занурені в рідину, діють сили тиску з боку рідини. Таким чином,

виштовхувальна сила — це *рівнодійна сил тиску* рідини на занурені в рідину частини поверхні тіла.

2. Закон Архімеда

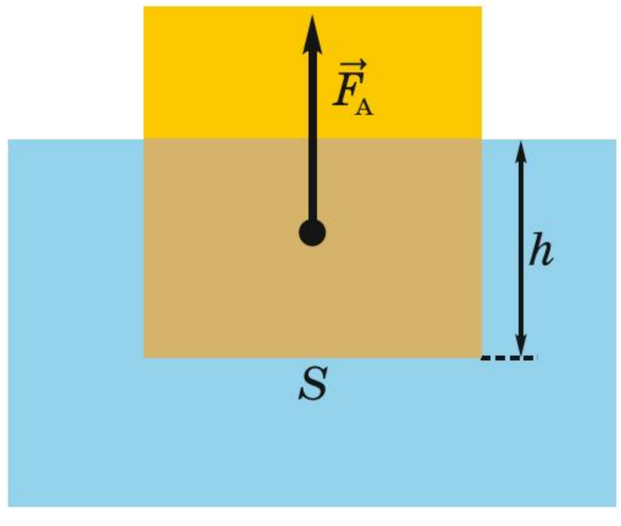
Знайдемо вираз для сили Архімеда. Для простоти які тіло розглянемо брусок у формі прямокутного паралелепіпеда, але отриманий висновок, як показали складніші розрахунки, справедливий для тіла *довільної* форми.

Позначимо h глибину, на якій розташована *нижня* грань зануреного у воду бруска, площа якої дорівнює S (мал. 18.2).

Знайдемо *рівнодійну сил тиску води* на брусок.

Сили тиску води на протилежні бічні грані бруска *зрівноважують* одна одну, оскільки рівні за модулем і протилежні за напрямком.

Звідси випливає, що рівнодійна сил тиску води на частини поверхні бруска є тільки сила тиску води на нижню грань бруска. Ця *напрямлена вгору* сила і є *силою Архімеда*. Знайдемо вираз для модуля цієї сили.



Мал. 18.2

Ви вже знаєте, що модуль сили тиску на певну поверхню дорівнює добутку тиску на площу цієї поверхні. Оскільки на глибині h тиск води $p = \rho_в gh$, у даному випадку модуль сили Архімеда $F_A = pS = \rho_в ghS$.

Зазначимо тепер, що добуток hS дорівнює об'єму *зануреної частини бруска* $V_з$. Отже, $F_A = \rho_в gV_з$.

Такий висновок справедливий для *будь-якої* рідини, тому

модуль сили Архімеда, що діє на тіло, занурене в рідину, виражають формулою

$$F_A = \rho_р gV_з,$$

де — $\rho_р$ густина рідини, $V_з$ — об'єм частини тіла, зануреної в рідину.

А тепер відмітимо, що добуток $\rho_р gV_з$ дорівнює *вазі* об'єму рідини в об'ємі зануреної частини тіла.

Отже,

сила Архімеда, що діє на занурене в рідину тіло, напрямлена вверх та дорівнює за модулем вазі рідини в об'ємі зануреної частини тіла.

Якщо тіло *повністю* занурене в рідину, то об'єм зануреної частини тіла, звичайно ж, дорівнює об'єму *всього* тіла.

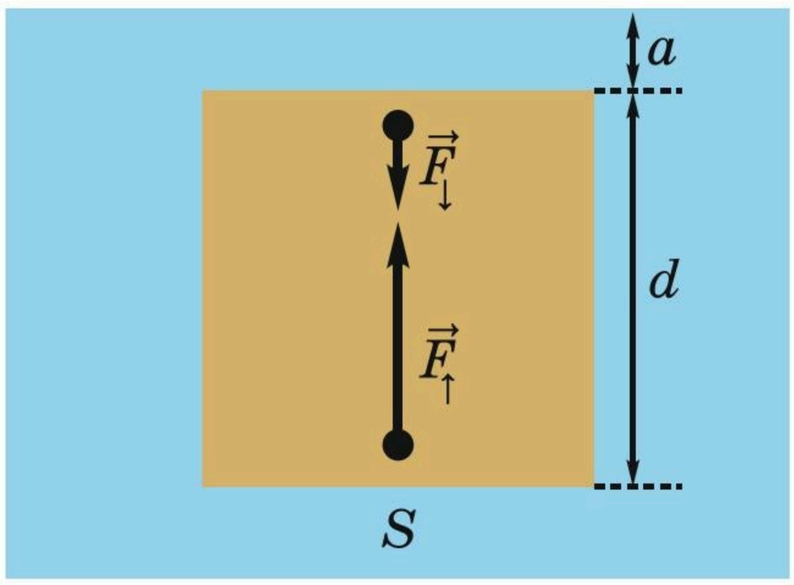
18.1. Брусок заввишки d занурений у рідину з густиною $\rho_р$ так, що верхня грань бруска перебуває на глибині a (мал. 18.3).

а) З якою силою рідина тисне на верхню грань бруска?

б) З якою силою рідина тисне на нижню грань бруска?

в) Чому дорівнює рівнодійна F_A сил тиску рідини на брусок? Куди вона напрямлена?

г) Чи дорівнює за модулем сила Архімеда вазі рідини в об'ємі, що дорівнює об'єму бруска, у цьому випадку?[1]



Мал. 18.3

На прикладі цього завдання ми бачимо, що *виштовхувальна* (напрямлена вгору) сила зумовлена *вагою* рідини (силою, напрямленою вниз).

Так, виштовхувальна сила, що діє на повністю занурений в рідину брусок, виникає тому, що на нижню грань бруска діє більша сила тиску, ніж на верхню. А це, у свою чергу, пов'язано з тим, що тиск *рідини збільшується з глибиною*. Збільшення тиску рідини з глибиною зумовлене тим, що верхні шари рідини тиснуть своєю *вагою* на нижні шари.

18.2. На дні посудини з водою лежать алюмінієвий і мідний бруски (під брусками є вода). Яке співвідношення сил Архімеда, що діють на ці бруски, якщо:

а) об'єми брусків рівні;

б) маси брусків рівні.[2]

18.3. Чи буде виштовхувальна сила діяти на тіло, занурене в рідину, в стані *невагомості* (наприклад, у космічному кораблі під час польоту з вимкненими двигунами)?[3] [4]

---

[1] *Відповідь.* а) $F_{\downarrow} = \rho_р g a S$. б) $F_{\uparrow} = \rho_р g (d + a) S$. в) $F_А = \rho_р g d S = \rho_р g V_{бр}$; напрямлена вгору. г) Дорівнює.

[2] *Відповідь.* а) На бруски діють рівні сили Архімеда. б) На алюмінієвий брусок діє в 3,3 раза більша сила Архімеда.

[3] *Порада.* Врахуйте, що виштовхувальна сила зумовлена вагою горішніх шарів рідини на ті, що розташовані нижче.

[4] *Відповідь.* Не буде.

18.4. На поверхні води плаває колода, маса якої дорівнює 20 кг. Чому дорівнює сила Архімеда, що діє на цю колоду?[1] [2]

Повітроплавання

Міркування, подібні до зазначених вище, свідчать, що

виштовхувальна сила також діє на тіло в газі.

Саме ця сила зрівноважує, наприклад, силу тяжіння, що діє на повітряну кулю, що плаває в повітрі (мал. 18.4).



Мал 18.4

Закон Архімеда справедливий і для газів:

на тіло, розташоване в газі, діє виштовхувальна сила, яка дорівнює вазі газу в об'ємі, який дорівнює об'єму тіла.

Може виникнути питання: чому ми не відчуваємо виштовхувальної сили, що діє на кожного з нас із боку навколишнього повітря? Щоб відповісти на це питання, розв'яжіть таку задачу.

18.5. Оцініть виштовхувальну силу, що діє на людину, маса якої дорівнює 50 кг, з боку навколишнього повітря, і порівняйте її з вагою цієї людини. Вважайте, що середня густина людського тіла дорівнює густині води. Значення густини повітря можна дізнатися з довідкових даних.[3] [4]

---

[1] *Порада.* Врахуйте, що колода перебуває в стані спокою.

[2] *Відповідь.* 200 Н.

[3] *Порада.* Спочатку знайдіть об'єм людського тіла.

[4] *Відповідь.* 0,645 Н, що в 775 разів менше від ваги людини.

3. Гідростатичне зважування

Проведемо дослід

Якщо підвішене на пружині тіло занурити у воду, то помітимо, що видовження пружини *зменшиться* (мал. 18.5).

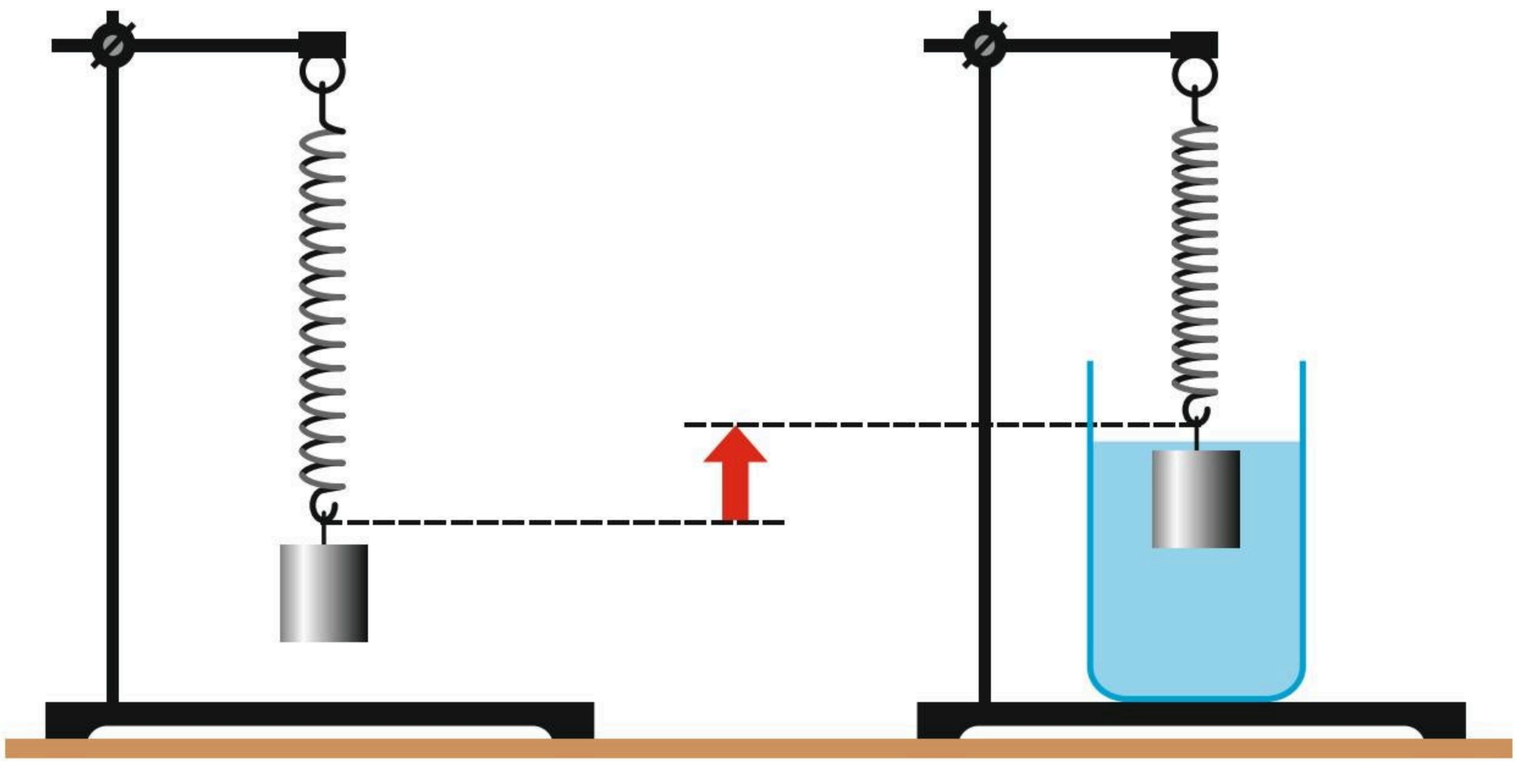


Рис. 18.5

Це явище іноді помилково називають втратою ваги тіла під час його занурення в рідину. Річ у тім, що під час занурення тіла, наприклад, у воду його вага просто *перерозподіляється*: тепер тільки *частина* ваги тіла припадає на *підвіс* (у даному випадку пружину), а решта — на *опору*, якою є вода. А якщо тіло плаває на поверхні води, то воно тисне на воду *всією* своєю вагою.

Розповімо, як «втрата ваги» (через те, про що йшлося вище, ці слова ми візьмемо в лапки) виявилася «на вагу золота» в прямому сенсі цих слів.

Цар Сиракуз (міста, де жив Архімед) замовив своєму ювелірові корону із чистого золота. Коли корона була готова, цар попросив Архімеда перевірити, чи справді вона виготовлена з *чистого* золота. І при цьому поставив умову: корона повинна залишитися неушкодженою!



Ідея спала на думку вченому, коли він був у ванні: Архімед помітив, що під час занурення у воду його тіло стає *легшим*. І здогадався, як цю «втрату ваги» можна використати для виконання поставленого царем завдання!

Радісний Архімед вискочив з ванни і помчав вулицею, вигукуючи: «Еврика!» Цей вигук, що в перекладі з грецької означає «знайшов», і досі вживають для вираження радості й задоволення з приводу якогось відкриття, виникнення вдалої ідеї чи у разі розв'язання важкої задачі.

Як же міг міркувати вчений?

Архімед зрозумів, що «втрата ваги» тіла дорівнює виштовхувальній силі, а ця сила за його власним законом дорівнює вазі води в об'ємі, що дорівнює об'єму тіла. Отже, за «втратою ваги» можна знайти об'єм тіла, і, знаючи об'єм тіла і його масу, можна знайти *густину речовини*, з якої виготовлене це тіло.

Позначимо P вагу корони в повітрі, а P' — «вага» корони повністю зануреної у воду.

«Втрата ваги» корони $P - P' = \rho_в g V$, де $\rho_в$ — густина води, V — об'єм корони. Звідси $V = \dfrac{P - P'}{\rho_в g}$.

Густину корони $\rho_к$ можна виразити через вагу корони і її об'єм: $\rho_к = \dfrac{P}{Vg}$. Підставляючи в цю формулу наведений вище вираз для об'єму V, отримуємо

$$\rho_к = \rho_в \frac{P}{P - P'}.$$

Вимірявши P і P', за допомогою цієї формули Архімед знайшов густину речовини, з якої була виготовлена корона. Ця густина, за легендою, виявилася меншою від густини золота.

Описаний спосіб вимірювання густини тіла називають *гідростатичним зважуванням*.

18.6. Вага корони в повітрі дорівнює 20 Н, а її «вага» під час занурення у воду — 18,7 Н.

а) Чому дорівнює густина речовини, з якої виготовлена корона?

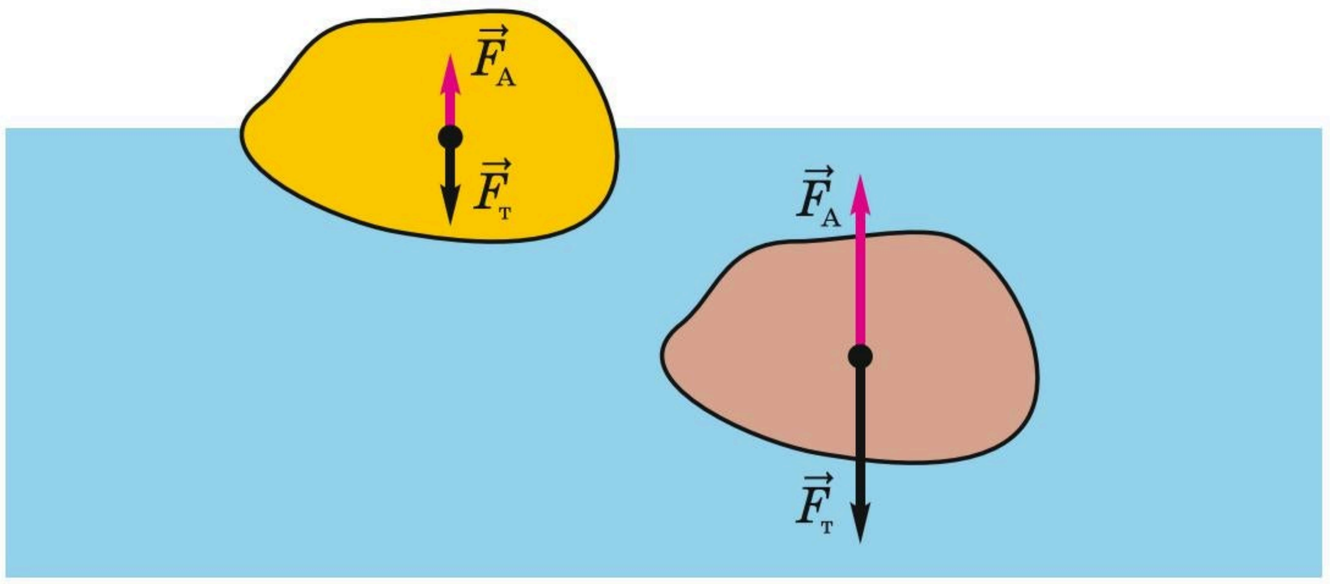
б) Чи виготовлена корона з чистого золота?[1]

[1] *Відповідь.* а) 1540 кг/м^3. б) Ні.

4. Плавання тіл

Основна умова плавання тіл

Якщо тіло *плаває в рідині* (на поверхні або повністю занурене), то сила тяжіння і сила Архімеда, які діють на це тіло, *зрівноважують одна одну*, тому що тіло *перебуває в стані спокою* (мал. 18.6).



Мал. 18.6

18.7. Дерев'яний брусок, що плаває у воді і маса якого дорівнює 200 г, перенесли у посудину із ртуттю.

а) Чи змінилася сила Архімеда, що діє на брусок, і якщо так, то як?

б) Чому дорівнює сила Архімеда, що діє на брусок у кожній з рідин?[1]

Умови плавання однорідних тіл

Однорідним називають тверде тіло, що зроблене з однієї речовини — наприклад, мідний брусок або соснова дошка.

Ми розглянемо тут випадок, коли це тіло має вигляд прямокутного паралелепіпеда, циліндра або кулі, коли *весь* об'єм рідини, витіснений тілом, заміщується речовиною цього тіла. Однак це тіло не повинне мати, наприклад, форму човна — такі тіла ми окремо розглянемо пізніше, вивчаючи плавання суден.

Якщо однорідне тіло, описане вище, плаває в рідині, то можна записати:

$$F_A = F_т \Rightarrow \rho_р g V_з = \rho_т g V_т .$$

Тут .. — густина рідини, $V_з$ — об'єм зануреної частини тіла, $\rho_т$ — густина речовини, з якої виготовлене тіло, $V_т$ — об'єм тіла.

---

[1] *Відповідь*. а) Ні. б) 2 Н у кожній рідині.

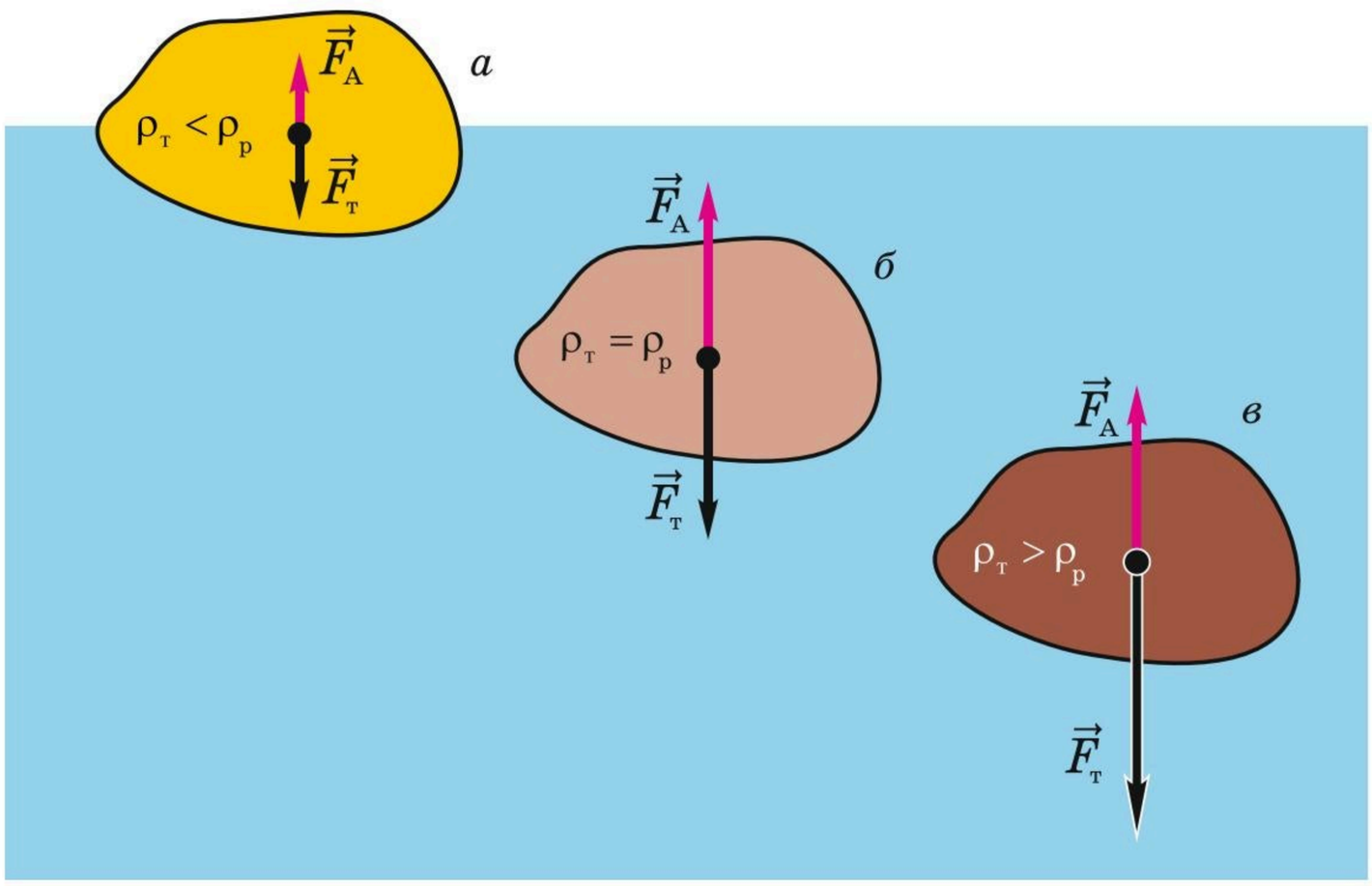
18.8. Доведіть:

а) якщо густина тіла більша за густину рідини ($\rho_т > \rho_р$), тіло не буде плавати в рідині (потоне) — (мал. 18.7 а);

б) якщо густина тіла дорівнює густині рідини ($\rho_т = \rho_р$), тіло буде плавати, повністю занурене в рідину (мал. 18.7 б);

в) якщо густина тіла менше від густини рідини ($\rho_т < \rho_р$), тіло буде плавати на поверхні рідини — (мал. 18.7 в), а відношення об'єму зануреного в рідину тіла до всього об'єму тіла дорівнює відношенню густини тіла до густини рідини

…[1]



Мал. 18.7



Мал. 18.8

18.9. Яка частина об'єму айсберга перебуває *під* водою (мал. 18.8)?[2]
з

18.10. У якій відомій вам рідині плаватиме сталевий прут? Чи буде плавати в тій самій рідині срібний брусок? золотий?[4]

---

[1] *Порада.* Скористайтеся рівністю, $\rho_р g V_з = \rho_т g V_т$ а також тим, що об'єм зануреної частини тіла $V_з$ не перевищує об'єму всього тіла $V_т$, тобто правильною є нерівність $V_з \le V_т$.

[2] *Порада.* Густину льоду можна дізнатися з довідкових даних.

[3] *Відповідь.* 9/10.

[4] *Відповідь.* У ртуті. Срібний брусок плаватиме, а золотий — ні.

18.11. Сталевий брусок, маса якого дорівнює 10 кг, перенесли з посудини із ртуттю до посудини з водою.

а) Чи змінилася сила Архімеда, що діє на брусок, і якщо так, то як — збільшилася чи зменшилася?

б) Чому дорівнює сила Архімеда, яка діє на брусок у ртуті?

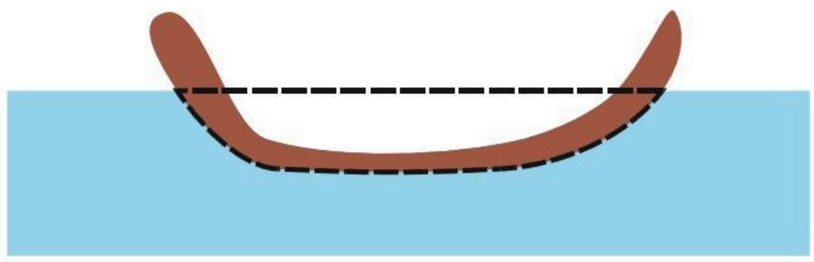
в) Чому дорівнює сила Архімеда, яка діє на брусок у воді?[1] [2]

Плавання суден

Проведемо дослід

Опустіть пластиліновий брусок у воду — він *потоне*, адже густина пластиліну більша, ніж густина води.

Тепер зліпіть із цього пластилінового бруска човник — він буде *плавати*, хоча зроблений з того самого пластиліну (мал. 18.9).



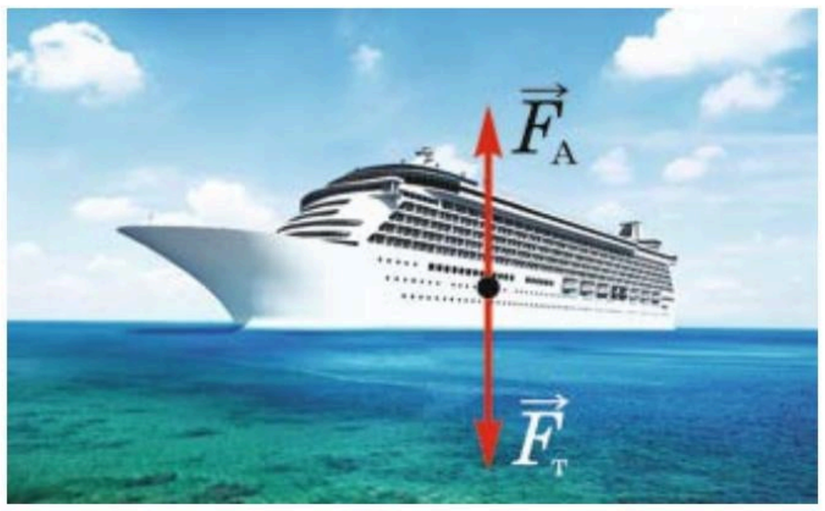
Мал. 18.9

Чому ця зміна форми змусила тіло плавати?

У пошуках відповіді на це питання розгляньте малюнок 18.9: на ньому штриховою лінією позначений об'єм *води, витісненої човником*. Ми бачимо, що він помітно більший за об'єм пластиліну, з якого виготовлений човник. А оскільки сила Архімеда дорівнює вазі *витісненої тілом рідини*, то завдяки формі човника сила Архімеда, що діє на човник, може зрівноважити силу тяжіння.

Наш простий дослід пояснює, чому плавають величезні сталеві кораблі, хоча густина сталі майже у 8 разів перевищує густину води (мал. 18.10).

Річ у тім, що в підводній частині судна (розташованої нижче рівня води) є великі порожнини, завдяки чому підводна частина судна *витісняє* об'єм води, який у багато разів перевищує об'єм металу, з якого виготовлене судно.



Мал. 18.10

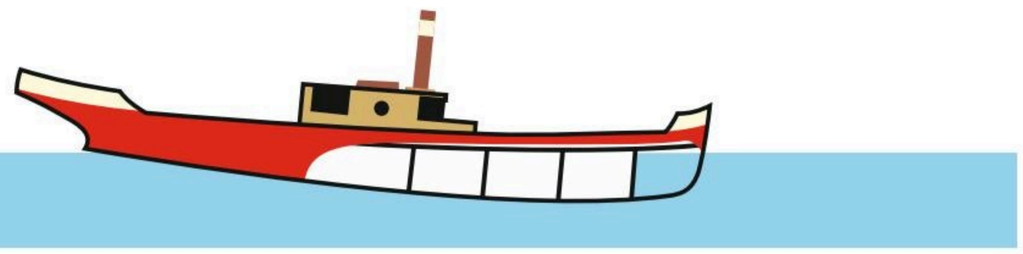
---

[1] *Порада.* а) Зверніть увагу, що сталевий брусок плаває в ртуті і тоне у воді.

[2] *Відповідь.* а) Зменшилася. б) 100 Н. в) 12,8 Н.

Вантажопідйомністю судна називають максимальну масу вантажу, який можна безпечно перевозити на цьому судні. Вантажопідйомність великих сучасних танкерів (наприклад, для перевезення нафти) становить сотні тисяч тонн.

18.12. Поясніть, чому підводну частину судна часто ділять на відсіки, розділені водонепроникними перегородками.[1]



Мал. 18.11

Лабораторна робота № 9

З'ясування умов плавання тіла

Мета: з'ясувати умови плавання тіл у рідині.

Обладнання: терези з гирками, посудина з водою, три тіла з різною густиною[2].

Перебіг роботи

[3]1. Виміряйте середню густину кожного із запропонованих вам тіл відомим способом. Порівняйте середню густину кожного тіла з густиною води. Запишіть результати.

2. Помістіть кожне тіло в воду і визначте, чи плаває це тіло, і якщо так, то як — занурившись у воду повністю, чи частково.

3. Запишіть результати.

4. Зробіть висновки і запишіть їх.

---

1 *Відповідь*. Якщо в підводній частині судна з'явиться отвір, то водою буде заповнено лише один або кілька відсіків. У цьому випадку судно зануриться глибше у воду, але *не потоне* (мал. 18.11).

2 Бажано брати такі три тіла, щоб перше плавало на поверхні води, друге плавало, майже повністю занурившись у воду, а третє тонуло у воді. У ролі таких тіл зручно використовувати невеликі, щільно закоркувані пляшечки, що містять різну кількість піску.

3 Середня густина тіла — це відношення маси даного тіла до його об'єму.

Про що ми дізнались?

- На тіло, занурене в рідину або газ, діє напрямлена вгору виштовхувальна сила — сила *Архімеда*. Ця сила є рівнодійною сил тиску, що діють на всі ділянки поверхні тіла, занурені в рідину або газ.
- *Закон Архімеда: на тіло, занурене в* рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка за модулем дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі зануреної частини тіла.
- Головна умова плавання тіл: сила тяжіння і сила Архімеда зрівноважують одна одну.
- Умова плавання однорідних тіл: якщо густина тіла більша за густину рідини, тіло тоне; якщо густина тіла дорівнює густині рідини, тіло плаває, повністю занурившись у рідину; якщо густина тіла менша від густини рідини, тіло плаває на поверхні рідини.
- Плавання суден можливе завдяки тому, що в підводній частині судна (нижче рівня води) є великі порожнини, завдяки яким підводна частина судна *витісняє* об'єм води, який у багато разів перевищує об'єм металу, з якого виготовлене судно.

Домашній експеримент

18.13. Використовуючи найпростіші терези (наприклад, кантар (дивіться мал. 8.7), поспостерігайте, як змінюється виштовхувальна сила, коли підвішене до терезів тіло поступово занурювати у воду. Зробіть висновок про залежність виштовхувальної сили від об'єму зануреної у воду частини тіла.

18.14. Виміряйте густину тіла (наприклад, каменю) за допомогою гідростатичного зважування.

18.15. Зробіть човник із фольги і виміряйте його вантажопідйомність.

Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

18.16. Поясніть, чому на тіло, занурене в рідину, діє виштовхувальна сила. Яка природа цієї сили?

18.17. Сформулюйте закон Архімеда.

18.18. Як змінюється сила Архімеда, що діє на людину, коли вона входить у воду, занурюючись усе глибше? Свою відповідь обґрунтуйте.

18.19. Брусок, об'єм якого дорівнює 50 см^3, повністю занурений у воду.
а) Чому дорівнює виштовхувальна сила, що діє на брусок?
б) Чому ця сила не залежить від матеріалу, з якого виготовлено брусок?
в) Чому ця сила не залежить від того, лежить брусок на дні посудини чи підвішений на нитці?

18.20. Коли металевий брусок, підвішений до динамометра, був повністю занурений у воду, показання динамометра зменшилися на 3 Н. Який висновок можна зробити з цього факту?

18.21. Колода плаває, занурена у воду на половину свого об'єму. Яка густина деревини?

18.22. Плита пінопласту завтовшки 12 см плаває на воді, занурившись на 3 см. Чому дорівнює густина пінопласту?

18.23. Чому повітряна куля не падає на землю?

Достатній рівень

18.24. Яку силу слід прикладати, щоб рівномірно піднімати повністю занурений у воду гранітний камінь, маса якого дорівнює 10 кг?

18.25. На дні акваріума з водою лежать мармурова і латунна кульки. Яке співвідношення сил Архімеда, що діють на них, якщо:
а) радіуси кульок рівні;
б) маси кульок рівні?

18.26. За повного занурення у воду підвішеної до динамометра кулі, об'єм якої дорівнює 280 см^3, покази динамометра становлять 1,6 Н.
а) Чому дорівнює маса кулі?
б) Чому дорівнює густина речовини, з якої виготовлена куля?

18.27. Яку силу слід прикласти, щоб утримати під водою корковий куб з довжиною ребра 0,5 м?

18.28. Суцільна куля тоне в ртуті.
а) Чи може ця куля бути виготовлена із золота?
б) Чи можна сказати, що ця куля зроблена із золота?[1]

---

[1] *Порада.* Густина кулі більша за густину ртуті.

18.29. Чому повітряну кулю заповнюють газом, густина якого менша від густини *навколишнього* повітря (наприклад, нагрітим повітрям або гелієм)?

18.30. Який висновок про середню густину людського тіла можна зробити з того, що людина може лежати на воді?

18.31. Чому плавають металеві кораблі?

Високий рівень

18.32. Сили Архімеда, що діють на те саме тіло за повного занурення у воду і гас, відрізняються на 4 Н.
а) У якій рідині виштовхувальна сила більша?
б) Чому дорівнює об'єм тіла?

18.33. За повного занурення суцільного алюмінієвого прута в рідину його вага зменшилася на 26 %. Що це може бути за рідина?

18.34. Підвішену на тросі мідну деталь, маса якої дорівнює 8,9 кг, повністю занурили у воду. Внаслідок цього сила натягу троса зменшилася на 20 Н.
а) Деталь суцільна чи порожниста?
б) Якщо вона порожниста, чому дорівнює об'єм порожнини?

18.35. Крижинка, маса якої 100 г, плаває в посудині з водою.
а) Чому дорівнює сила Архімеда, яка діє на крижинку?
б) Чому дорівнює об'єм зануреної у воду частини крижинки?
в) Коли лід повністю розтане, то рівень води в посудині підніметься, знизиться чи залишиться попереднім?

18.36. Сталева кулька плаває в ртуті. Де глибина занурення кульки більша — на Землі чи на Місяці? У скільки разів більша? На Місяці сила тяжіння приблизно в 6 разів менша, ніж на Землі.[1]

18.37. Чому повітряна куля починає підніматися, якщо викинути частину вантажу з кошика?

18.38. Коли білий ведмідь, маса якого дорівнює 600 кг, вибрався на плоску крижину, вона *повністю* у воду не занурилася. Чому може дорівнювати маса крижини?[2]

---

[1] *Порада.* Глибину занурення тіла в рідину визначають відношенням густини тіла до густини рідини.

[2] *Порада.* Виштовхувальна сила, що діє на крижину, *повністю* занурену у воду, має перевищувати загальну масу крижини і ведмедя.

ГОЛОВНЕ В ЦЬОМУ РОЗДІЛІ

- *Тиск* p — це відношення модуля сили тиску F, що діє на певну площу поверхні S, до цієї площі: $p = \dfrac{F}{S}$.
- За однакової сили тиску тиск зменшується зі збільшенням площі, на яку діє ця сила, і збільшується зі зменшенням площі.
- Одиницею тиску СІ є *паскаль*: 1 Па = 1 Н/м^2.
- Рідина тисне на дно і стінки посудини.
- Сила тиску рідини або газу на будь-яку ділянку поверхні перпендикулярна до цієї ділянки.
- Тиск газу на стінку посудини зумовлений ударами в стінку молекул газу, які хаотично рухаються.
- *Закон Паскаля*: тиск, який зовнішні сили чинять на рідину або газ, передається без змін у кожну точку рідини або газу.
- Тиск рідин і газів вимірюють *манометрами*.
- Тиск рідини збільшується з глибиною. На глибині h тиск виражають формулою $p = \rho g h$, де ρ — густина рідини.
- *Закон сполучених посудин*: у сполучених посудинах, у які налита та сама рідина, поверхня рідини перебуває на одному рівні.
- Землю оточує повітряна оболонка — *атмосфера*.
- Унаслідок тяжіння до Землі атмосфера тисне на її поверхню і на всі тіла, розташовані поблизу поверхні Землі.
- Атмосферний тиск становить приблизно 100 кПа. Приблизно такий тиск створює стовп води заввишки 10 м або стовп ртуті заввишки 760 мм.
- В експерименті Торрічеллі ртуть не виливається з трубки, тому що її утримує тиск атмосфери на поверхню ртуті в чаші.
- Атмосферний тиск вимірюють *барометром*.
- Атмосферний тиск знижується перед погіршенням погоди і підвищується перед її покращенням.
- На тіло, занурене в рідину або газ, діє напрямлена вгору виштовхувальна сила — сила *Архімеда*. Ця сила є рівнодійною сил тиску, що діють на всі ділянки поверхні тіла, занурені в рідину або газ.

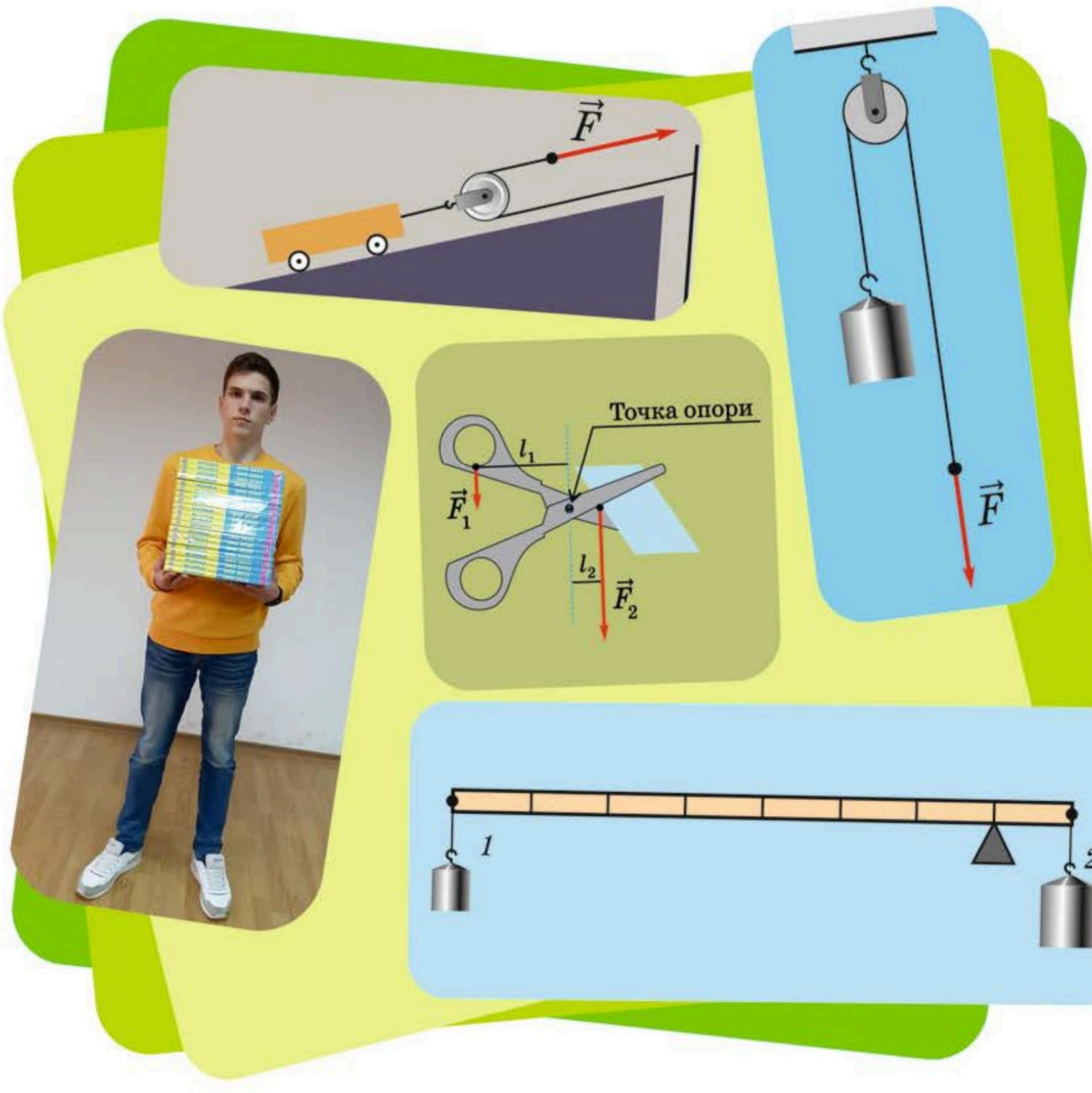
- *Закон Архімеда:* на тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка за модулем дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі зануреної частини тіла.
- Головна умова плавання тіл: сила тяжіння і сила Архімеда зрівноважують одна одну.
- Умова плавання однорідних тіл: якщо густина тіла більша за густину рідини, то тіло тоне; якщо густина тіла дорівнює густині рідини, то тіло плаває, повністю занурившись у рідину; якщо густина тіла менша від густини рідини, то тіло плаває на поверхні рідини.
- Плавання суден можливе завдяки тому, що в підводній частині судна (нижче від рівня води) є великі порожнини, через що підводна частина корабля *витісняє* об'єм води, який у багато разів перевищує об'єм металу, з якого виготовлене судно.

РОЗДІЛ V. МЕХАНІЧНА РОБОТА І ПОТУЖНІСТЬ. ЕНЕРГІЯ

§ 19. МЕХАНІЧНА РОБОТА. ПОТУЖНІСТЬ.

§ 20. МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ В МЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСАХ

§ 21. ПРОСТІ МЕХАНІЗМИ



§ 19. МЕХАНІЧНА РОБОТА. ПОТУЖНІСТЬ

1. Механічна робота.
2. Потужність.

1. Механічна робота

Дамо визначення механічної роботи для часткових випадків, які ми розглянемо в цьому навчальному році.

Якщо напрямок сили *збігається* з напрямком переміщення, механічна робота A *додатна* і дорівнює добутку модуля сили F на модуль переміщення тіла s:

$$A = Fs.$$

Знайдемо, наприклад, роботу сили тяжіння, коли тіло, маса якого дорівнює m, *падає* з *висоти* h. У цьому випадку $F = mg$, а $s = h$, тому робота сили тяжіння

$$A = mgh.$$

Якщо напрямок сили *протилежний до* напрямку переміщення, механічна робота A *від'ємна* і дорівнює добутку модуля сили F на модуль переміщення тіла s зі знаком мінус: $A = -Fs$.

Наприклад, роботу сили тяжіння при *підніманні* тіла, маса якого дорівнює m, на висоту h обчислюють за формулою

$$A = -mgh.$$

Якщо напрямок сили *перпендикулярний* до напрямку переміщення, механічна робота A дорівнює *нулю*: $A = 0$.

Наприклад, під час переміщення тіла *по горизонталі* робота сили тяжіння дорівнює нулю, незалежно від маси тіла і пройденого ним шляху: $A = 0$.

Механічну роботу часто називають просто *роботою*. Ми зробимо те саме, але пам'ятатимемо, що значення фізичного терміна «робота» дуже відрізняється від значення слова «робота» у звичайному значенні.

Наприклад, коли учень розв'язує задачу з фізики або математики, ми говоримо, що він *працює* головою, але *механічної роботи* не виконує.

Не кожна фізична активність є виконанням механічної роботи. Наприклад, коли людина тримає вантаж (мал. 19.1), вона втомлюється, хоча механічної роботи не виконує: адже переміщення вантажу дорівнює *нулю*, а, отже, механічна робота дорівнює нулю. Замість того щоб тримати вантаж, людина може покласти його на полицю, яка «триматиме» вантаж цілодобово, «не втомлюючись».



Мал 19.1

Одиниця роботи

Одиницею роботи в СІ є *джоуль* (Дж). Цю одиницю роботи названо на честь англійського фізика Джеймса Джоуля.

Один джоуль дорівнює роботі, яку виконує сила один ньютон, коли тіло переміщується в напрямку сили на один метр. Тому

$$1\ \text{Дж} = 1\ \text{Н} \cdot 1\ \text{м}.$$

Також використовують кілоджоулі ($1\ \text{кДж} = 10^3\ \text{Дж}$) і мегаджоулі ($1\ \text{МДж} = 10^6\ \text{Дж}$).

Робота тіла

Вище ми дали визначення роботи сили, але часто говорять (і ми теж це робитимемо) про роботу тіла. При цьому мають на увазі роботу, виконану силою, яка прикладена з боку цього тіла.

19.1. Людина рівномірно піднімає на 1 м гирю, маса якої дорівнює 10 кг. Чому дорівнює:

а) робота, яку виконує людина;

б) робота, яку виконує сила тяжіння?[1]

19.2. Учень, прикладаючи горизонтальну силу 2 Н, рівномірно перемістив по прямій на 0,5 м по столу брусок, маса якого дорівнює 400 г.

а) Чому дорівнює сила тертя, що діє на брусок?

б) Чому дорівнює робота, яку виконав учень?

---

[1] *Відповідь*. а) 100 Дж. б) −100 Дж.

в) Чому дорівнює робота, яку виконала сила тертя?

г) Чому дорівнює робота, яку виконала сила тяжіння?

ґ) Чому дорівнює робота, яку виконала сила нормальної реакції?[1] [2]

Робота змінної сили

У деяких задачах потрібно знайти роботу змінної сили, тобто сили, яка змінюється під час руху тіла.

У такому випадку для роботи сили справедлива формула

$$A = F_c s\,,$$

де F_c — середнє значення сили під час переміщення тіла.

Якщо сила *лінійно* залежить від переміщення, середнє значення сили дорівнює середньому арифметичному найменшого і найбільшого значень сили.

Знайдемо, наприклад, роботу, яку необхідно виконати, щоб розтягнути пружину з початкового стану, коли пружина не деформована, до кінцевого стану, у якому видовження пружини дорівнює x. Тоді

$$\left.\begin{aligned} F_{\min} &= 0 \\ F_{\max} &= kx \end{aligned}\right\} \Rightarrow F_c = \frac{kx}{2} \Rightarrow A = F_c s = \frac{kx^2}{2}\,.$$

Такий самий висновок справедливий і для роботи, яку необхідно виконати, щоб стиснути пружину.

Звідси випливає, що робота, яку виконують, щоб розтягнути чи стиснути спочатку недеформовану пружину, обчислюють за формулою

$$A = \frac{kx^2}{2}\,,$$

де x — модуль кінцевої деформації пружини.

19.3. З дна озера кран рівномірно піднімає гранітний куб з довжиною ребра 1 м. У початковому стані верхня грань куба перебуває на рівні води, а в кінцевому — нижня грань перебуває на рівні води.

а) Чому дорівнює вага куба?

б) Чому дорівнює сила Архімеда, що діє на повністю занурений куб?

---

[1] *Порада.* а) Якщо брусок рухається рівномірно і прямолінійно, то рівнодійна сил, прикладених до нього, дорівнює нулю.

[2] *Відповідь.* а) 2 Н. б) 1 Дж. в) −1 Дж. г) 0. ґ) 0.

в) Чому дорівнює сила натягу кранового троса на початку підйому куба?

г) Чому дорівнює сила натягу кранового троса в кінці підйому куба?

ґ) Чому дорівнює робота крана під час підйому куба?[1] [2]

2. Потужність

«Швидкість» виконання роботи характеризується потужністю.

Потужність N — це відношення виконаної роботи A до проміжку часу t, за який виконана ця робота:

$$N = \frac{A}{t}.$$

Одиницею потужності СІ є *ват* (Вт). Вона названа на честь англійського винахідника Джеймса Ватта.

Потужність дорівнює 1 Вт, якщо робота, що дорівнює 1 Дж, виконана протягом 1 с.

$$1\ \text{Вт} = \frac{1\ \text{Дж}}{1\ \text{с}}.$$

Щоб «відчути» цю одиницю потужності, розв'яжіть задачу.

19.4. Людина піднімає повне відро води, маса якого становить 10 кг, на 1 м за 1 с. Чому дорівнює потужність, яку розвиває людина?[3]

Як бачите, 1 Вт — це мала потужність за звичайними людськими мірками. Ви цілком можете розвивати сотні ват потужності.

Потужність різних двигунів

Потужність двигунів, які створила людина, набагато перевищує потужність людини. Наприклад, потужність двигуна легкового автомобіля становить приблизно 100 кВт, а сумарна потужність двигунів великого пасажирського літака — сотні *мегават*. Потужність двигунів космічних кораблів досягає сотень тисяч МВт.

---

[1] *Порада. Під час піднімання куба* сила натягу троса *лінійно* залежить від переміщення куба.

[2] *Відповідь*. а) 27 кН. б) 10 кН. в) 17 кН. г) 27 кН. ґ) 22 кДж.

[3] *Відповідь*. 100 Вт.

19.5. Кран рівномірно підняв бетонну плиту, маса якої становить 5 т, на висоту 20 м за 100 с. Яку потужність розвивав двигун крана під час роботи?[1]

Як виразити потужність через силу і швидкість?

Потужність двигунів транспортних засобів зручно виражати через силу тяги і швидкість руху:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{Fs}{t} = F\frac{s}{t} = Fv\ .$$

Це співвідношення пояснює, чому

- щоб збільшити швидкість руху за тієї самої сили тяги, необхідно збільшити потужність (натиснути на педаль газу на горизонтальній дорозі);
- щоб збільшити силу тяги за тієї самої потужності, необхідно знизити швидкість (перемкнути на знижену передачу на підйомі).

19.6. Чому дорівнює сила опору повітря під час рівномірного прямолінійного руху автомобіля по горизонтальній дорозі зі швидкістю 90 км/год, якщо двигун автомобіля розвиває потужність 30 кВт? Вважайте, що тертям кочення можна знехтувати.[2] [3]

Про що ми дізнались?

- Якщо напрямок сили *збігається* з напрямком переміщення, механічна робота A *додатна* і дорівнює добутку модуля сили F на модуль зміщення тіла s: $A = Fs$.
- Якщо напрямок сили *протилежний до* напрямку переміщення, механічна робота A *від'ємна* і дорівнює добутку модуля сили F на модуль переміщення тіла s зі знаком мінус: $A = -Fs$.
- Якщо напрямок сили *перпендикулярний* до напрямку переміщення, механічна робота A дорівнює *нулю*: $A = 0$.
- Одиницею роботи в СІ є *джоуль* (Дж). 1 Дж = 1 Н · 1 м.

---

[1] *Відповідь.* 10 кВт.

[2] *Порада.* Під час рівномірного прямолінійного руху тіла рівнодійна сил, прикладених до нього, дорівнює нулю. Тому в цьому випадку сила опору повітря дорівнює силі тяги двигуна. Значення швидкості автомобіля виразіть в одиницях СІ.

[3] *Відповідь.* 1,2 кН.

- Робота, яку виконують, щоб розтягнути чи стиснути спочатку недеформовану пружину, обчислюють за формулою $A = \frac{kx^2}{2}$, де — модуль кінцевої деформації пружини.
- *Потужність* N — це відношення виконаної роботи A до проміжку часу t, за який виконано цю роботу: $N = \frac{A}{t}$.
- Одиницею потужності СІ є *ват* (Вт). $1\ \text{Вт} = \frac{1\ \text{Дж}}{1\ \text{с}}$.
- Потужність двигуна можна виразити через силу тяги і швидкість транспортного засобу за формулою $N = Fv$.

Домашній експеримент

19.7. Оцініть, яку роботу ви виконуєте, піднімаючись по сходах з першого поверху на п'ятий. Яку потужність ви розвиваєте в цьому випадку? Зробіть необхідні виміри самостійно. Запишіть свої розрахунки й отримані результати.

Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

19.8. Яку роботу необхідно виконати, щоб літровий пакет соку підняти на 1 м? Чому дорівнює робота сили тяжіння в цьому випадку?

19.9. Робітник опускає на тросі вантаж, маса якого дорівнює 10 кг, на 5 м.
а) Чому дорівнює робота сили тяжіння при цьому?
б) Чому дорівнює робота, яку виконує робітник?

19.10. Кран рівномірно піднімає блок, маса якого становить 2 т, на висоту 4 м за 8 секунд.
а) Чому дорівнює сила натягу троса, до якого прикріплений вантаж?
б) Чому дорівнює робота, яку виконує двигун крана?
в) Яку потужність розвиває двигун крана?

19.11. Ліфт рівномірно підняв вантаж на 20 м за 10 с, при цьому двигун виконував роботу 200 кДж. Маса ліфта становить 580 кг.
а) Яку потужність розвинув двигун?
б) Чому дорівнює маса вантажу?

Достатній рівень

19.12. Кулька, маса якої дорівнює 100 г, скотилася з полиці на висоті 2 м від підлоги і впала.
а) Чому дорівнювала робота сили тяжіння, коли кулька лежала на полиці?
б) Чому дорівнює робота, яку виконала сила тяжіння під час падіння кульки?

19.13. Шафу, маса якої дорівнює 80 кг, рівномірно перемістили на 5 м, виконавши роботу 2 кДж. Чому дорівнює коефіцієнт тертя між шафою і підлогою?

19.14. Із дна озера завглибшки 10 м рівномірно піднятий на поверхню чавунний злиток, маса якого дорівнює 10 кг. Яку роботу при цьому виконано? Вважайте, що розмірами злитка можна знехтувати.[1]

19.15. Кран рівномірно піднімає вантаж зі швидкістю 1 м/с протягом 20 с, при цьому двигун крана розвиває потужність 4 кВт.
а) Чому дорівнює маса вантажу?
б) Чому дорівнює робота двигуна крана?

19.16. Автомобіль рухається зі сталою швидкістю 20 м/с. При цьому двигун розвиває потужність 10 кВт. Чому дорівнює сила опору повітря?

19.17. Катер рухається з постійною швидкістю 27 км/год. Чому дорівнює сила опору води, якщо двигун човна розвиває потужність 150 кВт?

Високий рівень

19.18. Вантажник рівномірно переміщує вантаж, маса якого дорівнює 100 кг, по горизонтальній підлозі, прикладаючи горизонтальну силу і виконуючи роботу 4,5 кДж. Коефіцієнт тертя між вантажем і підлогою дорівнює 0,3.
а) Яку силу прикладає вантажник?
б) На яку відстань переміщено вантаж?

---

[1] *Порада.* Знайдіть об'єм злитка.

19.19. Насос, потужність якого дорівнює 3 кВт, перекачав 18 м^3 води з глибини 12 м.

а) Чому дорівнює робота, яку виконав двигун насоса?

б) Скільки часу працює насос?

19.20. Під час розтягування пружини виконали роботу, що дорівнює 0,75 Дж. Чому дорівнює видовження пружини, якщо її жорсткість 150 Н/м? У початковому стані пружина була не деформована.

19.21. На дні озера лежить бетонний блок. Його рівномірно піднімають над поверхнею води. Глибина озера — 2 м, висота блока — 0,5 м, маса блока — 2,5 т. У кінцевому положенні відстань від поверхні води до нижньої грані блока — 1,5 м.

а) Чому дорівнює сила натягу канату, що утримує блок, коли він повністю занурений у воду?

б) Чому дорівнює сила канату, що утримує блок, коли він перебуває над водою?

в) Яку роботу виконали, піднімаючи блок, коли він повністю занурений у воду?

г) Яку роботу виконали, піднімаючи блок, коли він частково занурений у воду?

ґ) Яку роботу виконали, піднімаючи блок, коли він перебував над водою?

д) Чому дорівнює вся робота, яку виконали, піднімаючи блок?

19.22. Плоска крижина завтовшки 10 см плаває у воді. Маса крижини дорівнює 90 кг.

а) Яку силу необхідно прикласти, щоб крижину повністю занурити у воду?

б) Яку найменшу роботу необхідно виконати, щоб повністю занурити крижину?

§ 20. МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ В МЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСАХ

1. Механічна енергія.
2. Закон збереження енергії в механічних процесах.
3. Загальний закон збереження енергії.

1. Механічна енергія

У яких випадках тіло або система тіл можуть виконувати роботу?

Проведемо дослід

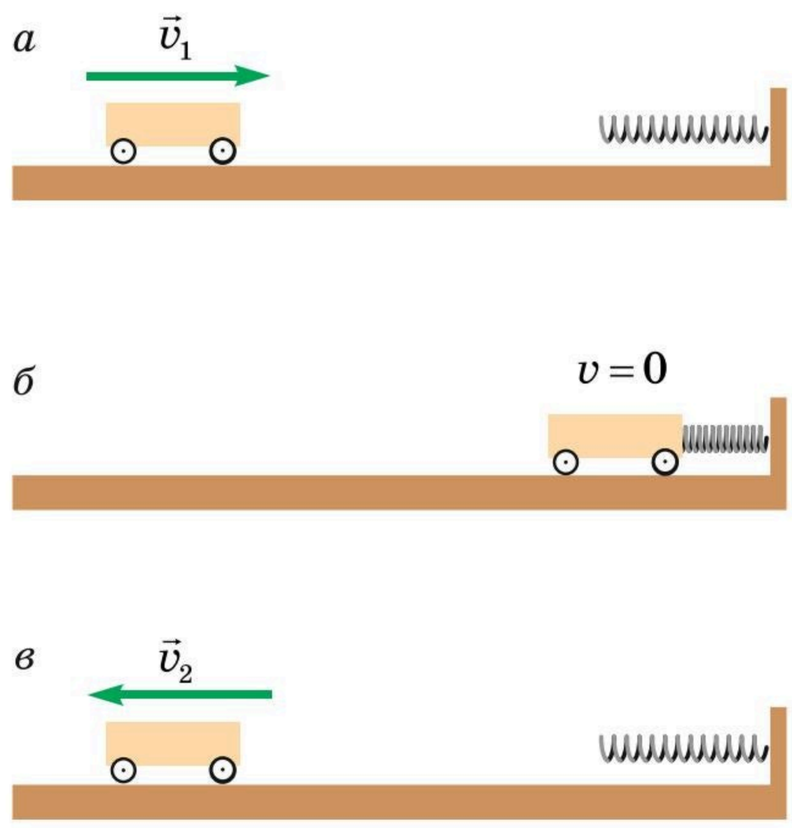
Надамо візку, що стоїть на столі, деякої швидкості в напрямку прикріпленої горизонтальної пружини (мал. 20.1 а).

Візок докотиться до пружини і *стисне* її, зупинившись на мить (мал. 20.1 б).

Потім стиснута пружина випрямиться і *відштовхне* візок, який *покотиться* у зворотному напрямку (мал. 20.1 в).

Які висновки зробимо з цього досліду?

Під час гальмування візок, *стискаючи пружину*, виконував *роботу*.



Мал. 20.1

• Отже, рухоме тіло (у нашому досліді — візок) може виконувати роботу, зменшуючи свою швидкість.

Деформована (стиснута) пружина, повернувшись у недеформований стан, виконала *роботу*, надавши візку швидкість (у протилежному напрямку до початкової).

• Тому деформована пружина може виконати роботу, зменшуючи деформацію.

Розглянемо тепер приклад *системи взаємодіючих тіл, здатних виконувати роботу*.

На малюнку 20.2 зображено водяне колесо водяного млина в Закарпатському музеї народної архітектури та побуту. Вода, *що падала* з жолоба на лопаті колеса, обертала його, а колесо крутило жорна водяного млина. І це було не дуже давно — у XIX столітті.



Мал. 20.2



Мал. 20.3

Той факт, що вода, яка падає, *може виконувати* роботу, сьогодні має значно ширше застосування. На малюнку 20.3 зображена гребля Дніпровської ГЕС (ДніпроГЕС), розташованої в Запоріжжі, найпотужнішої гідроелектростанції в Україні. Вода, що падає з греблі, виконує роботу, приводячи в рух електрогенератори — величезні пристрої, що генерують електричний струм.

• Цей приклад свідчить про те, що підняте тіло може виконувати роботу під час падіння.

Чому, перш ніж говорити про енергію піднятого тіла, згадуємо *системи* тіл, які *взаємодіють*?

Річ у тім, що здатність піднятого тіла виконувати роботу зумовлена його *взаємодією із* Землею яка *притягує* це тіло.

Здатність деформованої пружини виконувати роботу зумовлена *також* взаємодією — в цьому випадку взаємодією між частинками речовини, з яких складається пружина.

Фізичну величину, яка характеризує здатність тіла або системи тіл виконувати роботу внаслідок зміни *швидкості* тіла або *взаємного розташування тіл, які взаємодіють*, називають *механічною енергією*.

Як змінюється механічна енергія під час виконання роботи?

Коли тіло (або система тіл) виконує *додатну* роботу, механічна енергія цього тіла (системи тіл) *зменшується* на величину, яка дорівнює виконаній роботі. Наприклад, енергія рухомого візка зменшується під час гальмування.

Ви вже знаєте, що робота тіла або системи тіл може бути *і від'ємною*: наприклад, при *розтягуванні пружини від'ємну* роботу виконує сила пружності пружини.

Коли тіло або система тіл виконує *від'ємну* роботу, енергія цього тіла (системи тіл) *збільшується* на величину, що дорівнює виконаній роботі.

20.1. Як змінюється енергія рухомого тіла за:
а) збільшення його швидкості, б) зменшення його швидкості?[1]

20.2. Як змінюється енергія пружини за:
а) збільшення деформації, б) зменшення деформації?[2]

20.3. Як змінюється енергія піднятого тіла за:
а) збільшення висоти, б) зменшення висоти?[3]

Одиниця енергії

Оскільки зміну енергії вимірюють виконаною роботою, то одиниця енергії така сама, як і одиниця роботи. Отже, одиницею енергії СІ є *джоуль* (Дж).

Також використовують кратні одиниці енергії: кілоджоуль (1 кДж = 1000 Дж) і мегаджоуль (1 МДж = 1 000 000 Дж).

Механічна енергія дорівнює сумі *кінетичної* і *потенціальної* енергії.

Кінетична енергія

Фізичну величину, що дорівнює роботі, яку виконує рухоме тіло, коли його швидкість зменшується до повної зупинки, називають *кінетичною енергією* цього тіла.

Розрахунки, які ми відкладемо до 9 класу, показують, що

кінетичну енергію тіла обчислюють за формулою $E_k = \frac{mv^2}{2}$, де m — маса тіла, v — модуль його швидкості.

20.4. Швидкість автомобіля збільшилася втричі. У скільки разів збільшилася його кінетична енергія?[4]

Потенціальна енергія

Фізичну величину, що характеризує здатність системи взаємодіючих тіл виконувати роботу за рахунок зміни взаємного розташування тіл (або частин тіла), називають *потенціальною* енергією.

У цьому навчальному році ми розглянемо два види потенціальної енергії:

---

1 *Відповідь*. а) Збільшується. б) Зменшується.
2 *Відповідь*. а) Збільшується. б) Зменшується.
3 *Відповідь*. а) Збільшується. б) Зменшується.
4 *Відповідь*. У 9 разів.

- *потенціальна енергія піднятого тіла: вона зумовлена тяжінням тіла до Землі*. Важливо розуміти, що це насправді потенціальна енергія системи взаємодіючих тіл «підняте тіло + Земля»;
- *потенціальна енергія деформованої пружини*: вона зумовлена взаємодією між частинками речовини, з яких складається пружина.

20.5. Доведіть, що

потенціальну енергію піднятого тіла обчислюють за формулою

$$E_p = mgh\,,$$

де m — маса тіла, h — висота, на яку підняте тіло.[1]

20.6. Доведіть, що

потенціальну енергію деформованої пружини обчислюють за формулою

$$E_p = \frac{kx^2}{2}\,,$$

де k — жорсткість пружини, x — величина деформації тіла (розтягнення або стиснення).[2]

2. Закон збереження енергії в механічних процесах

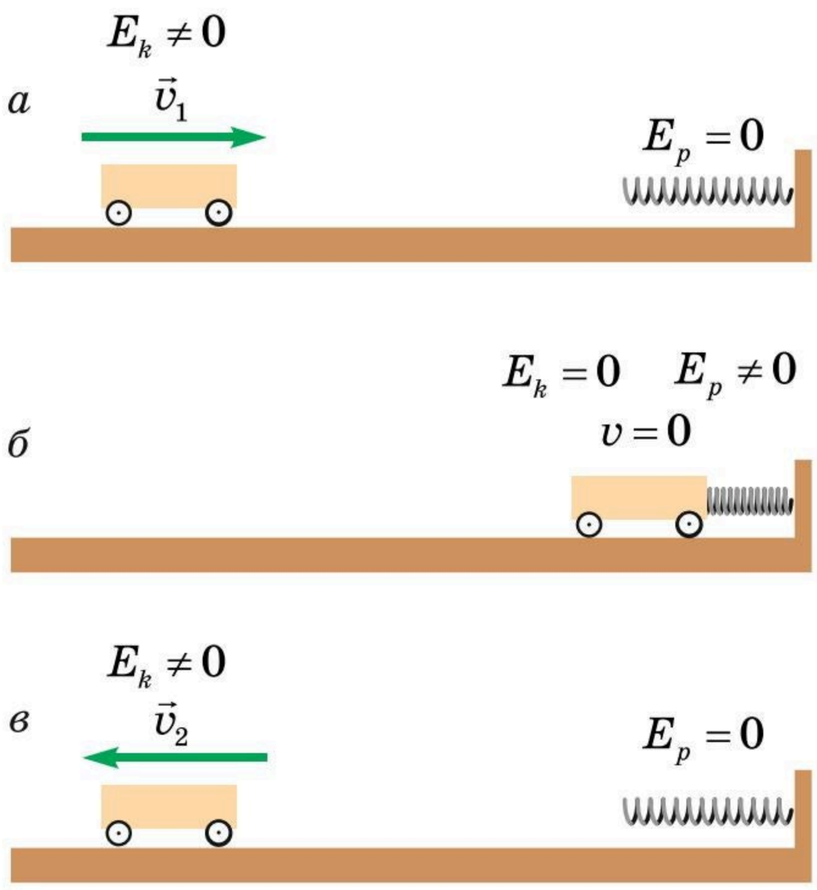
Взаємне перетворення кінетичної та потенціальної енергій

Проведемо дослід

Повторимо експеримент, у якому рухомий візок стикається з горизонтальною пружиною.

У початковому стані (мал. 20.4 а) візок має кінетичну енергію, а потенційна енергія недеформованої пружини дорівнює нулю.

У проміжному стані (мал. 20.4 б) кінетична енергія візка дорівнює нулю (візок на мить зупинився), але стиснута пружина має потенціальну енергію.



Мал. 20.4

[1] *Порада*. Скористайтеся виразом для роботи сили тяжіння.

[2] *Порада*. Скористайтеся виразом для роботи під час розтягування пружини.

У кінцевому стані (мал. 20.4 в) візок знову має кінетичну енергію, а потенціальна енергія недеформованої пружини знову дорівнює нулю.

Цей дослід свідчить, що *кінетична і потенціальна енергії можуть перетворюватися одна в одну*.

Поспостерігаємо це явище в іншому експерименті.

Проведемо дослід

Підкинемо м'яч вертикально вгору (мал. 20.5 а). У початковому положенні (у найнижчій точці траєкторії) м'яч має кінетичну енергію, його потенціальна енергія дорівнює нулю.

У проміжному положенні, коли м'яч досягає найвищої точки траєкторії (мал. 20.5 б), його кінетична енергія дорівнює нулю (м'яч на мить зупиняється), але він (як підняте тіло) має потенціальну енергію.

У кінцевому положенні (знову в найнижчій точці траєкторії) м'яч знову має кінетичну енергію, і його потенціальна енергія знову дорівнює нулю (мал. 20.5 в).



Мал. 20.5

Коли механічна енергія зберігається?

Коли ми переконалися, що кінетика і потенціальна енергії можуть перетворюватися одна в одну, виникає питання: *чи зберігається їхня сума*?

Досліди і розрахунки, з якими ми ознайомимо вас у подальшому вивченні фізики, підтверджують, що

якщо тертям і опором середовища можна знехтувати, то механічна енергія тіл, які взаємодіють, *зберігається*:

$$E_k + E_p = \text{const}\,.$$

Це твердження називають *законом збереження енергії в механічних процесах*.

Цей закон дозволяє розв'язувати нові задачі.

Наприклад, знайдіть швидкість вантажу, що вільно падає без початкової швидкості з *висоти* h саме перед дотиком до землі.

Позначимо масу вантажу m. У початковий момент $E_p = mgh$, $E_k = 0$. У кінцевий момент $E_p = 0$, $E_k = \frac{mv^2}{2}$, де v — модуль швидкості вантажу перед дотиком до землі.

Оскільки $E_k + E_p = \text{const}$, отримуємо $\frac{mv^2}{2} = mgh \Rightarrow v^2 = 2gh$.

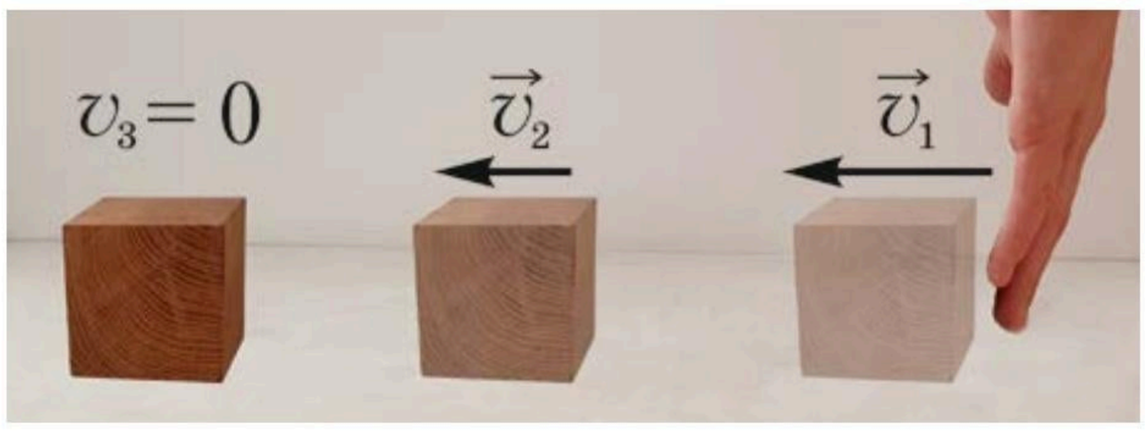
20.7. Зенітка стріляє вертикально вгору. На яку висоту підніметься снаряд, якщо його початкова швидкість становить 500 м/с? Вважайте, що опором повітря можна знехтувати.[1] [2]

20.8. Візок, маса якого дорівнює 500 г, рухаючись зі швидкістю 4 м/с, стикається з горизонтальною пружиною, жорсткість якої 1,25 кН/м (мал. 20.4). Яка максимальна потенційна енергія пружини?[3] [4] Чи є в умові зайві дані?

3. Загальний закон збереження енергії

Проведемо дослід

Штовхніть брусок, що лежить на столі. Він почне ковзати, але його швидкість буде знижуватися, і незабаром він зупиниться (мал. 20.6).



Мал. 20.6

---

[1] *Порада.* Скористайтеся тим, що потенціальна енергія снаряда в найвищій точці дорівнює його кінетичній енергії у момент вильоту з гармати.

[2] *Відповідь.* 12,5 км.

[3] *Порада.* Скористайтеся тим, що за максимального стиснення пружини її потенціальна енергія дорівнює початковій кінетичній енергії візка.

[4] *Відповідь.* 4 Дж. Є.

Швидкість бруска знизилася внаслідок дії тертя ковзання. При цьому брусок і стіл *нагріваються*, а ви вже знаєте, *що за нагрівання тіла збільшується швидкість хаотичного руху його молекул*. Це означає, що початкова кінетична енергія бруска не зникла безслідно!

Енергію хаотичного руху атомів і молекул називають *внутрішньою енергією*: вивчати її ми будемо наступного навчального року. Отже, при гальмуванні бруска силою тертя *механічна енергія перетворюється у внутрішню*.

Загалом

енергія — це фізична величина, яка характеризує здатність тіла або системи взаємодіючих тіл виконувати роботу за зміни стану тіла або системи тіл.

Відзначимо, що наведене вище загальне означення енергії стосується *будь-якої* зміни стану тіла або системи тіл, а не просто зміни швидкості або взаємного розташування тіла.

Поняття «енергія» є одним з найважливіших в *усіх* науках про природу — у фізиці, хімії, біології, медицині. Поняття «енергія» має вагоме значення в техніці.

Значення поняття «енергія» ми розкриватимемо протягом усього вивчення курсу фізики. Ви дізнаєтеся, що існують *різні види енергії*.

У середині XIX ст. був відкритий *закон збереження енергії*:

енергія не виникає і не зникає, а може лише перетворюватися з одного виду в інший, а також переходити з одного тіла до іншого.

Цей закон пов'язує воєдино всі явища природи — саме тому його вважають найважливішим законом природи.

Теплові двигуни. Енергія річок і вітру. Екологічні характеристики джерел енергії

Основними джерелами енергії для людини сьогодні є *теплові двигуни* (переважно на теплових електростанціях і в транспортних засобах), *атомні електростанції*, *гідроелектростанції*, а також електростанції, які використовують енергію вітру і Сонця.

Усі ці джерела енергії так чи інакше впливають на навколишнє середовище.

Наприклад, під час роботи теплові двигуни у навколишнє середовище викидають продукти згоряння палива. Це забруднює повітря, особливо у великих містах, де багато заводів та автомобілів. Од-

ним із продуктів згоряння є вуглекислий газ, підвищений уміст якого в атмосфері зумовлює «парниковий ефект»: він проявляється у тому, що атмосфера «не випускає» назад у космічний простір тепло від нагрітої Сонцем поверхні Землі. Це може бути однією із причин *глобального потепління*, яке посилюється ще й тим, що під час роботи теплових двигунів нагрівається навколишнє середовище.

Атомні електростанції екологічно чистіші — але тільки за умови, що є надійний захист від аварій, у результаті яких може відбутися викид радіоактивних речовин.

Екологічно найчистішими сьогодні вважають гідроелектростанції, сонячні і вітрові електростанції, проте і їхня робота також впливає на довкілля.

Для функціонування гідроелектростанції створюють великий перепад рівнів води у річці, для чого будують греблі, які перегороджують річку. У результаті вода покриває великі території, які неможливо використовувати, наприклад, у сільському господарстві.

Вітрові електростанції також зменшують площу сільськогосподарських угідь, до того ж відлякують тварин.

Сучасними джерелами енергії є також сонячні панелі й електростанції, дія яких ґрунтується на морських та океанських припливах і відпливах. Проте внесок таких джерел енергії поки що відносно малий.

Про що ми дізнались?

- Фізичну величину, яка характеризує здатність тіла або системи тіл виконувати роботу внаслідок зміни *швидкості* тіла або *взаємного розташування взаємодіючих тіл*, називають *механічною енергією*.
- Коли тіло або система тіл виконує *додатну* роботу, механічна енергія цього тіла (системи тіл) *зменшується* на величину, яка дорівнює виконаній роботі.
- Коли тіло або система тіл виконує *від'ємну* роботу, енергія цього тіла (системи тіл) *збільшується* на величину, що дорівнює виконаній роботі.
- Одиницею енергії СІ є *джоуль* (Дж).
- Механічна енергія дорівнює сумі *кінетичної* та *потенціальної* енергій.

- Фізичну величину, що дорівнює роботі, яку виконує рухоме тіло, коли його швидкість знижується до повної зупинки, називають *кінетичною енергією* цього тіла. Обчислюють за формулою $E_k = \frac{mv^2}{2}$, де m — маса тіла, v — модуль його швидкості.
- Фізичну величину, яка характеризує здатність системи тіл, які *взаємодіють*, виконувати роботу за рахунок зміни взаємного розташування тіл (або частин тіла), називають *потенціальною* енергією.
- Потенціальну енергію піднятого тіла обчислюють за формулою $E_p = mgh$, де m — маса тіла, h — висота, на яку підняте тіло.
- Потенційну енергію деформованої пружини обчислюють за формулою $E_p = \frac{kx^2}{2}$, де k — жорсткість пружини, x — величина деформації тіла (розтягнення або стиснення).
- *Кінетична і потенціальна енергії можуть перетворюватися одна в одну.*
- *Закон збереження енергії в механічних процесах*: якщо тертям і опором середовища можна знехтувати, механічна енергія взаємодіючих тіл *зберігається.*
- *Енергія — це фізична величина, яка характеризує здатність тіла або системи* тіл, що взаємодіють, виконувати роботу за зміни стану тіла або системи тіл.
- *Закон збереження енергії*: енергія не виникає і не зникає, а може лише перетворюватися з одного виду в інший, а також переходити з одного тіла до іншого.

Домашній експеримент



20.9. Підвісьте невеликий вантаж до нитки, верхній кінець якої закріплений — отримаєте маятник. Відхиліть вантаж у бік, відпустіть і спостерігайте за коливаннями маятника.

а) У яких положеннях вантажу його кінетична енергія найбільша; найменша?

б) У яких положеннях вантажу його потенціальна енергія найбільша; найменша?

в) За якого напрямку руху вантажу (до положення рівноваги чи від нього) кінетична енергія вантажу перетворюється в потенціальну?
г) За якого напрямку руху вантажу (до положення рівноваги чи від нього) потенціальна енергія вантажу перетворюється в кінетичну?
ґ) Чи можна стверджувати, що механічна енергія маятника зберігається під час коливань? Свою відповідь обґрунтуйте.

Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

20.10. Поясніть, чому одиниця енергії така сама, як одиниця роботи.

20.11. Чому дорівнює кінетична енергія кулі, маса якої становить 400 г, що рухається зі швидкістю 5 м/с?

20.12. Як змінюється кінетична енергія автомобіля за збільшення його швидкості з 60 км/год до 120 км/год?

20.13. Чому дорівнює потенціальна енергія бетонного блока, маса якого становить 2 т, піднятого на 30 м?

20.14. Як зміниться потенціальна енергія пружини, якщо зменшити її видовження в 3 рази?

20.15. За яких умов зберігається механічна енергія? Наведіть приклади.

Достатній рівень

20.16. По трасі рухаються легковий автомобіль і вантажівка. Маса вантажівки в 4 рази більша за масу легкового автомобіля. За якого співвідношення їхніх швидкостей їхні кінетичні енергії рівні?

20.17. Під час руху в ліфті потенціальна енергія людини, маса якої дорівнює 60 кг, збільшилася на 12 кДж.
а) Ліфт піднімався чи опускався?
б) Яку відстань подолав ліфт?

20.18. Пружина із жорсткістю 200 Н/м розтягнута силою 4 Н.
а) Чому дорівнює видовження пружини?
б) Чому дорівнює робота з розтягування пружини?
в) Чому дорівнює потенціальна енергія пружини?

20.19. На якій висоті потенціальна енергія кульки дорівнює її кінетичній енергії, якщо кулька падає з висоти 10 м? Вважайте, що опором повітря можна знехтувати.[1]

20.20. М'яч кинули вертикально вгору з початковою швидкістю 10 м/с. Вважайте, що опором повітря можна знехтувати.
а) Як високо підніметься м'яч?
б) На якій висоті потенціальна енергія м'яча дорівнює його кінетичній енергії?

Високий рівень

20.21. Підвішений на пружині вантаж перебуває в положенні рівноваги. Вантаж підняли так, щоб пружина ставала недеформованою, і випустили без поштовху. Як буде змінюватися в процесі коливань вантажу:
а) кінетична енергія вантажу;
б) потенціальна енергія вантажу;
в) потенціальна енергія пружини?

20.22. Під час удару по м'ячу дуже сильний футболіст може надати йому початкову швидкість 200 км/год. На яку висоту міг би піднятися м'яч, якби така початкова швидкість була спрямована вертикально вгору і опором повітря можна було знехтувати?

20.23. Дві суцільні кулі з рівними об'ємами — алюмінієва і олов'яна — починають вільно падати з однакової висоти.
а) Яка куля має більшу початкову потенціальну енергію? У скільки разів?
б) Яка куля має більшу швидкість перед тим, як торкнутися до землі? У скільки разів?
в) Яка куля має більшу кінетичну енергію перед дотиком до землі? У скільки разів?[2]

20.24. Дерев'яний брусок утримують на дні акваріума і відпускають. Як змінюється під час спливання бруска:
а) потенціальна енергія бруска;
б) потенціальна енергія води в акваріумі?

---

[1] *Порада.* Скористайтеся законом збереження енергії в механічних процесах.
[2] *Порада.* а) Знайдіть відношення мас куль. б) Скористайтеся законом збереження енергії в механічних процесах.

§ 21. ПРОСТІ МЕХАНІЗМИ

1. Важіль.
2. Блоки.
3. Похила площина.
4. «Золоте правило» механіки. Коефіцієнт корисної дії простих механізмів.

1. Важіль

Умова рівноваги важеля під дією двох сил

Проведемо дослід

Ви вже знайомі з *важільними терезами* (мал. 21.1).

На одну шальку терезів (зазвичай ліву) ставлять тіло, яке потрібно зважити, а на другу (зазвичай праву) — важки з набору. Терези перебуватимуть у *рівновазі*, коли маса даного тіла дорівнює сумарній масі важок.



Мал. 21.1

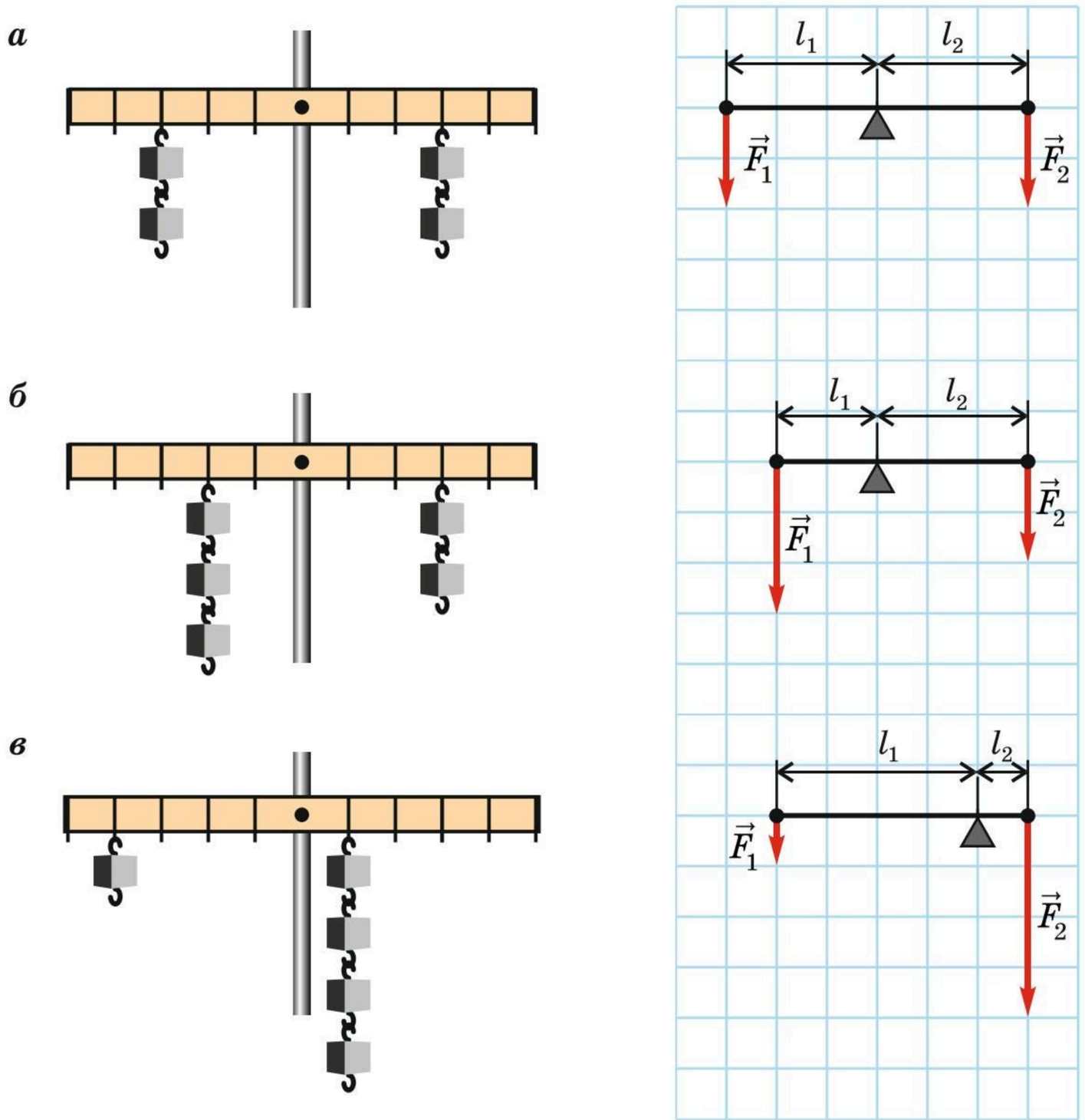
Зазначимо, що шальки підвішені до коромисла на *рівних* відстанях від осі обертання, що проходить через середину коромисла.

Ці терези називають *важільним терезами*, тому що їхня дія ґрунтується на *правилі важеля*, яке ми зараз відкриємо. Зазначимо лише, що

важіль — це тверде тіло, що може обертатися навколо нерухомої точки, яку називають точкою *опори*.

Проведемо дослід

Будемо підвішувати різні набори вантажів до важеля з різних боків від точки опори. Виявимо, що важіль може перебувати в *рівновазі* не тільки тоді, коли однакові вантажі підвішені на рівних відстанях від точки опори (мал. 21.2).



Мал. 21.2

Експерименти доводять, що важіль перебуває в рівновазі, якщо

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1},$$

де F_1 і F_2 — сили, що діють на важіль з боку підвішених вантажів (ваги вантажів), а l_1 і l_2 — відстані від точки опори до точок підвісу вантажів. У правій частині малюнка 21.2 наведені схеми експериментів.

Зазначимо також, що коли важіль перебуває в рівновазі, сили, прикладені до важеля з протилежних боків точки опори, намагаються обертати важіль в *протилежних* напрямках.

Щоб зробити висновок з наших дослідів, нам стануть у пригоді поняття *плеча сили* та *моменту сили*.

Плече l сили, прикладеної до важеля, — це відстань від точки опори важеля до *прямої*, уздовж якої діє ця сила.

Нагадаємо, що відстань від точки до прямої — це довжина перпендикуляра, проведеного з цієї точки до прямої.

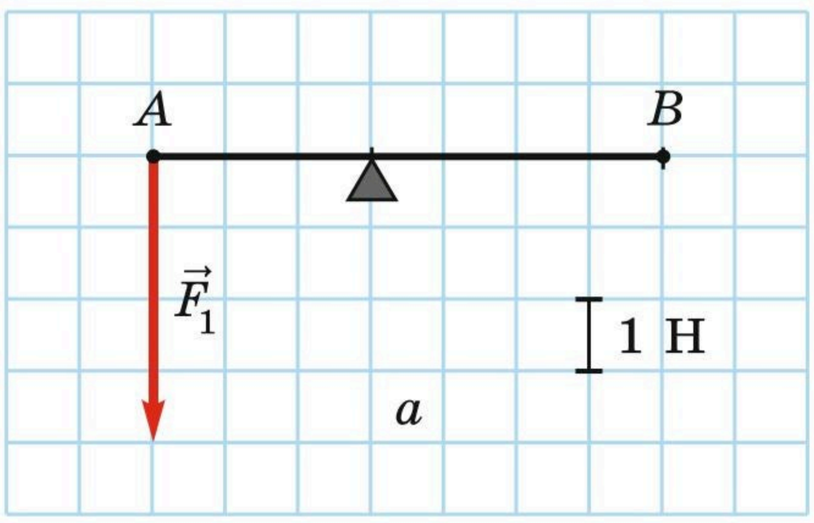
З описаних дослідів випливає

умова рівноваги важеля: важіль перебуває в рівновазі, якщо прикладені до нього сили прагнуть обертати його в протилежних напрямках, а модулі сил обернено пропорційні до плечей цих сил:

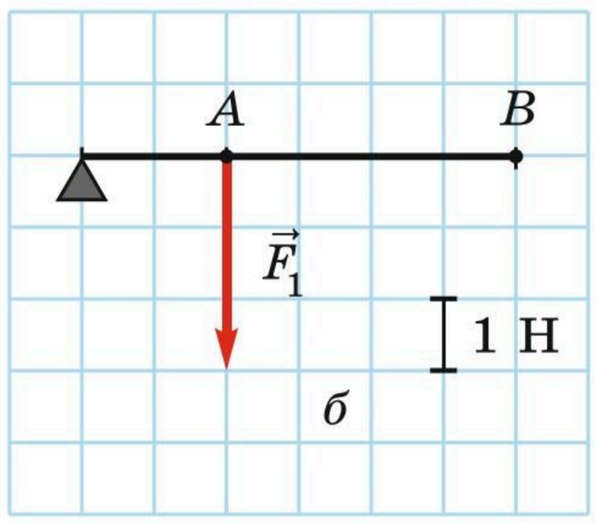
$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}.$$

Це твердження називають *правилом важеля*. Його відкрив на дослідах вже відомий вам Архімед. Він широко використовував правило важеля, зокрема для створення зброї для захисту рідного міста від римлян.

21.1. Яку вертикально напрямлену силу необхідно прикласти до важеля в точці B (мал. 21.3), щоб важіль перебував у рівновазі? Куди має бути напрямлена ця сила? Масою важеля знехтуйте.[1]



Мал. 21.3



Мал. 21.4

Важіль може перебувати в рівновазі, коли прикладені до нього сили напрямлені *протилежно*, якщо точки прикладання цих сил розташовані *з одного боку від точки опори*.

21.2. Яку вертикально напрямлену силу необхідно прикласти до важеля в точці B (мал. 21.4), щоб важіль перебував у рівновазі? Куди повинна бути напрямлена ця сила? Масою важеля знехтуйте.[2] [3]

21.3. Важіль завдовжки 1 м перебуває в рівновазі, коли до його кінців підвішені вантажі 20 кг і 30 кг. Де розташована точка опори важеля, якщо його масою можна знехтувати?[1]

---

[1] *Відповідь.* 3 Н; униз.

[2] *Порада.* Спочатку знайдіть, у скільки разів плече сили, прикладеної в точці B, більше, ніж плече сили, прикладеної в точці A.

[3] *Відповідь.* 1 Н; угору.

Виграші і програші при використанні важеля

Однією з головних переваг важелів у побуті й техніці є можливість отримати *виграш у силі*.

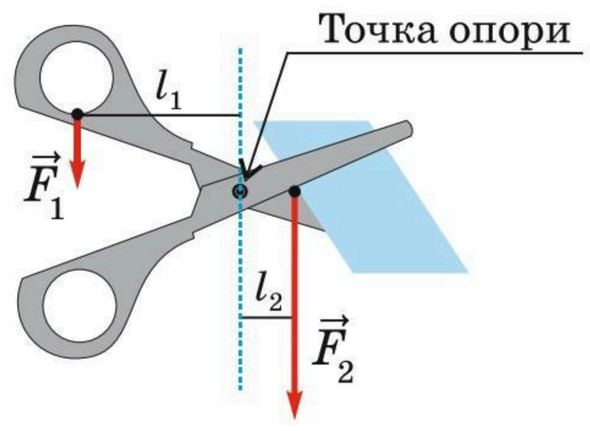
21.4. На малюнках 21.5, і 21.6 показано два способи отримання виграшу в силі під час піднімання вантажу. Опишіть стисло, чим відрізняються ці методи: яке взаємне розташування точок прикладання сил і точки опори; куди напрямлені сили, прикладені до важеля — в один бік чи в протилежні боки.



Мал. 21.5



Мал. 21.6



Мал. 21.7

21.5. Який виграш у силі виходить за допомогою ножиць у даний момент, зображений на малюнку 21.7? Зробіть необхідні вимірювання самостійно.

Проте *виграш у силі* за використання важеля *завжди* супроводжується *програшем у переміщенні*, адже точка прикладання меншої сили робить більше переміщення, ніж точка прикладання більшої сили.

Досліди і розрахунки доводять:

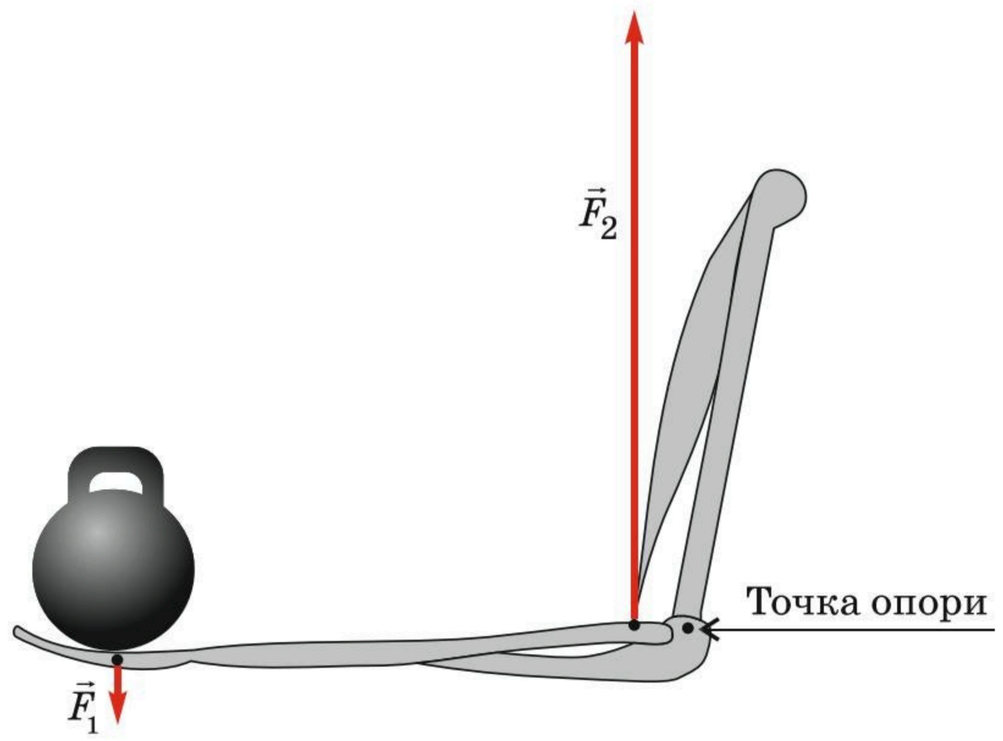
якщо масою важеля і тертям можна знехтувати, то за використання важеля програють у переміщенні у стільки разів, у скільки виграють у силі.

Але за допомогою важеля можна виграти і в *переміщенні*. Наприклад, м'язи рук і ніг кріпляться до більш коротких плечей важелів (біля суглобів), тому за відносно невеликого скорочення м'яза кінець руки або ноги переміщається на значну відстань.

---

[1] *Відповідь*. На відстані 40 см від точки підвішування більшого вантажу.

Проте виграш у переміщенні неодмінно супроводжується програшем у силі. Малюнок 21.8 схематично зображує сили, що діють на живий «важіль», коли людина тримає вантаж у зігнутій руці. При цьому сила, що діє на «важіль» з боку м'яза, приблизно у 8 разів більша за вагу вантажу.



Мал. 21.8

Момент сили. Загальна умова рівноваги важеля

Правило важеля як умову його рівноваги можна використовувати, якщо до важеля прикладені *дві* сили (не враховуючи силу, прикладену до точки опори).

А яка умова рівноваги важеля в разі, коли до нього прикладені три і більше сил?

Щоб відповісти на це питання, нам потрібно увести поняття моменту сили.

Момент сили M є добутком модуля сили F на плече цієї сили l:

$$M = Fl.$$

З цього означення випливає, що *одиницею СІ моменту сили* є *ньютон на метр* (Н·м).

21.6. Доведіть, що правило важеля $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$ означає, що *моменти сил, які намагаються обертати важіль у протилежні боки, рівні*:

$$M_1 = M_2.$$

Дане формулювання умови рівноваги важеля можна узагальнити на випадок, коли до нього прикладено більше двох сил.

Загальна умова рівноваги важеля полягає в тому, що сума моментів сил, що намагаються обертати важіль в одному напрямку, дорівнює сумі моментів сил, що намагаються обертати його в протилежному напрямку.

Це твердження називають *правилом моментів*.

Застосуємо правило моментів, розв'язуючи завдання, у якому до важеля прикладені *три* сили.

21.7. Гірлянди тягарців по 100 г підвішені до важеля (мал. 21.9). Відстань між сусідніми штрихами — 10 см.

а) Чому дорівнює момент сили, яка намагається обертати важіль за годинниковою стрілкою?

б) Чому дорівнює момент сили, яка намагається обертати важіль проти годинникової стрілки?

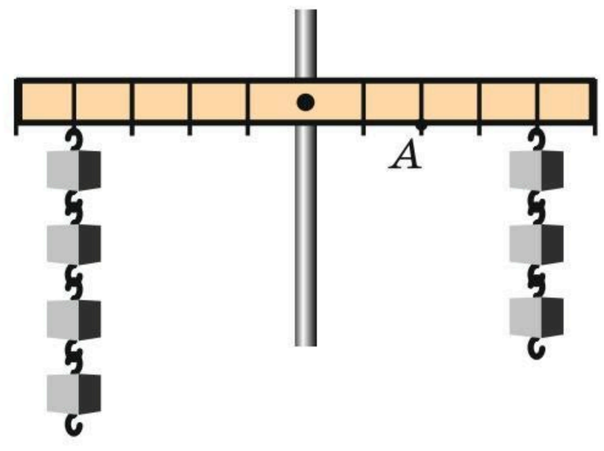
в) Куди повинна бути напрямлена сила, прикладена до важеля в точці A, щоб важіль перебував у рівновазі?

г) Чому має дорівнювати момент цієї сили?

ґ) Чому дорівнює плече цієї сили?

д) Чому дорівнює модуль цієї сили?

е) Який вантаж необхідно повісити в точці A, щоб важіль перебував у рівновазі?[1]



Мал. 21.9

Лабораторна робота № 10

Вивчення умови рівноваги важеля

Мета: перевірити правило рівноваги важеля на досліді, виміряти моменти сил, що діють на важіль, і порівняти їх.

Обладнання: штатив з муфтою та лапкою, важіль, набір тягарців, маса яких 100 г, динамометр, лінійка.

Перебіг роботи

1. Зафіксуйте вісь важеля в лапці штатива і зрівноважте його в горизонтальному положенні за допомогою регулювальних гайок.

2. Підвішуючи тягарці до важеля у двох точках, розташованих по різні боки від його осі, перевірте справедливість правила важеля

[1] *Відповідь*. а) 1,2 Н · м. б) 1,6 Н · м. в) Униз. г) 0,4 Н · м. ґ) 0,2 м. д) 2 Н. е) 200 г.

для двох варіантів наборів тягарців і точок їх підвісу. Запишіть дані експерименту, його результат і висновок з нього.

3. Підвішуючи тягарці до важеля в *трьох* точках, одна з яких розташована з одного боку від його осі, а дві інші — з другого, перевірте справедливість правила моментів для одного варіанта наборів тягарців і точок їх підвісу. Запишіть дані експерименту і результат.

4. Зробіть висновки і запишіть їх.

2. Блоки

Нерухомий блок

Проведемо дослід

Чи можна *підняти* вантаж, прикладаючи силу, напрямлену вниз? Ось простий дослід, який демонструє таку можливість (мал. 21.10).

У цьому досліді для піднімання вантажу використовують нерухомий блок — колесо з жолобом для троса, яке обертається на *нерухомій закріпленій* осі.



Мал. 21.10

За допомогою нерухомого блока можна змінювати *напрямок* сили.

21.8. Як за допомогою нерухомого блока змінити напрямок сили на: а) 90°; б) 45°? Складіть пояснювальні рисунки.

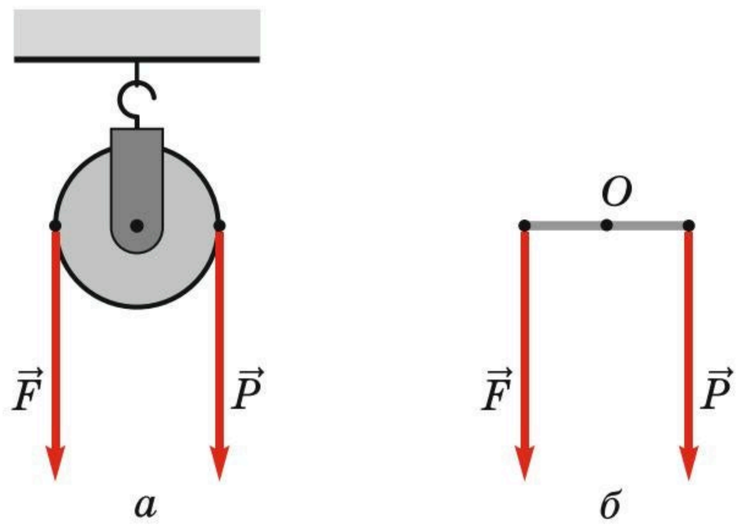
Якщо масою троса і тертям у блоці можна знехтувати, то нерухомий блок перебуває в рівновазі, якщо сили, прикладені до різних кінців троса, *рівні за модулем*.

Щоб зрозуміти, чому так відбувається, застосуємо до нерухомого блока умову рівноваги важеля.

21.9. Використовуючи малюнок 21.11, поясніть, чому сили, прикладені до різних кінців троса, перекинутого через нерухомий блок, рівні за модулем.[1]

---

[1] *Порада.* Зауважте, що нерухомий блок кожної миті — це важіль з рівними плечами сил.



Мал. 21.11

Отже, доходимо висновку, що

нерухомий блок не дає виграшу в силі.

21.10. Доведіть, що

нерухомий блок не дає ні виграшу, ні програшу в переміщенні.[1]

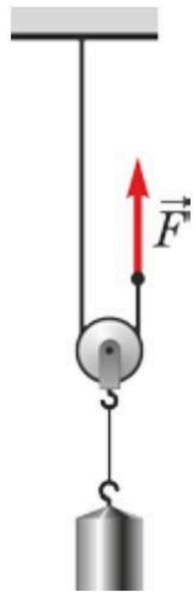
21.11. Намалюйте схему того, як можна використовувати нерухомий блок для піднімання вантажу на дах будинку, прикладаючи силу вниз.

Рухомий блок

Проведемо дослід

Як, не використовуючи важіль, можна підняти вантаж, прикладаючи силу, удвічі меншу від ваги вантажу?

Ось як це можна зробити за допомогою *рухомого блока* (мал. 21.12).



Мал. 21.12

Рухомим блок називають тому, що він *рухається* з вантажем, підвішеним до блока.

Якщо масою троса і тертям у блоці можна знехтувати, то

рухомий блок дає виграш силі у 2 рази.

Щоб зрозуміти, чому так стається, застосуємо правило важеля до рухомого блока.

---

[1] *Порада.* Зверніть увагу на те, що оскільки трос нерозтяжний, то модулі переміщення кінців троса рівні.

21.12. Використовуючи малюнок 21.13, поясніть, чому рухомий блок дає виграш у силі у 2 рази.

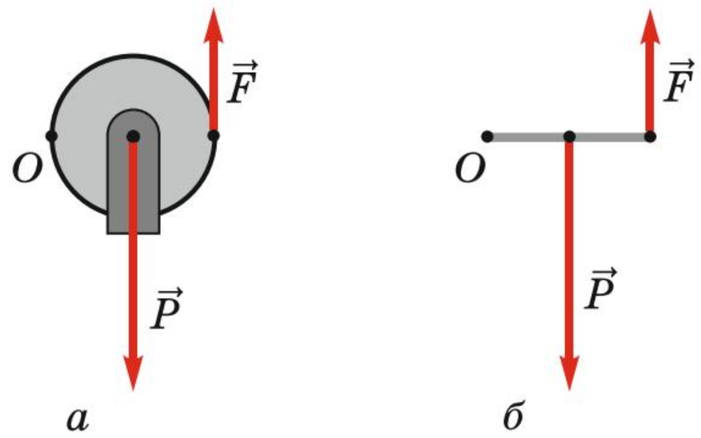


Рис. 21.13

21.13. Зауважте, що рухомий блок кожної миті — це важіль, одне плече якого у 2 рази більше за інше.

Однак, як і у випадку з важелем, виграш у силі супроводжується *програшем у переміщенні*.

21.14. Доведіть, що

за використання рухомого блока удвічі програють у переміщенні.

21.15. Порівняйте модулі переміщення кінця троса, до якого прикладена сила, і рухомого блока, до якого підвішений вантаж.

21.16. За допомогою рухомого блока вантаж, маса якого дорівнює 100 кг, рівномірно піднімають на висоту 3 м. Вважайте, що масою блока і троса, а також тертям можна знехтувати.

а) Яку силу необхідно прикладати, щоб піднімати вантаж?

б) Яку довжину троса потрібно вибрати, щоб піднімати вантаж?[1]

21.17. Піднімання вантажу здійснюють за допомогою системи блоків (мал. 21.14).

а) Скільки блоків у цій системі і які це блоки?

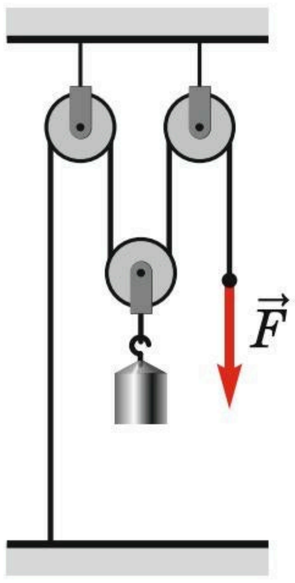
б) Чи дає ця система блоків виграш у силі, і якщо так, то який?

в) Чи дає ця система блоків програш у переміщенні, і якщо так, то який?[2]

---

[1] *Відповідь*. а) 500 Н. б) 6 м.

[2] *Відповідь*. а) Два нерухомі блоки та один рухомий. б) Виграш у силі удвічі. в) Програш у переміщенні удвічі.



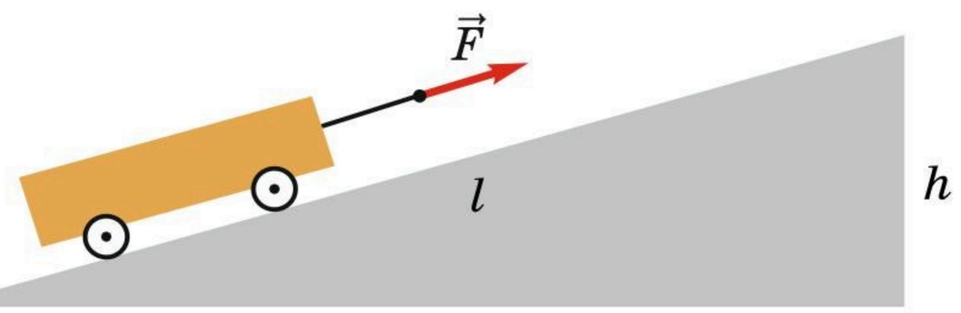
Мал. 21.14

3. Похила площина

Проведемо дослід

Отримати виграш у силі, наприклад, підняти вантаж, прикладаючи меншу силу, ніж вага вантажу, можна не лише за допомогою важеля або рухомого блока.

Ось як це можна зробити, *використовуючи похилу площину* (мал. 21.15).



Мал. 21.15

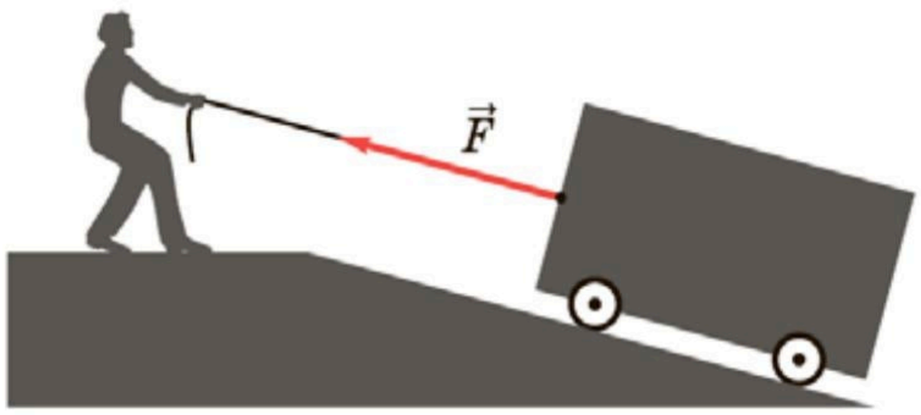
На малюнку 21.15 позначені довжина похилої площини l і висота похилої площини h. Досліди і розрахунки доводять: якщо тертям можна знехтувати, то

похила площина дає виграш в силі в стільки разів, у скільки довжина похилої площини l більша за її висоту h.

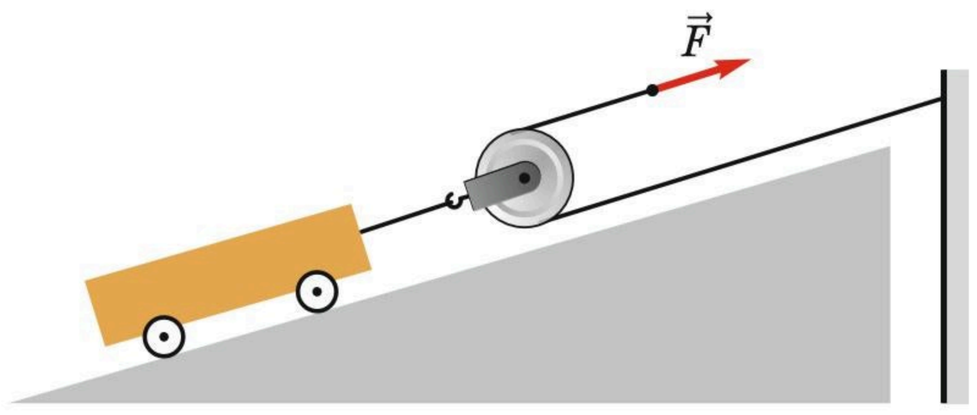
Однак похила площина дає такий самий програш у переміщенні (якщо тертям можна знехтувати).

21.18. Людина тягне догори вантаж по похилій площині, прикладаючи силу, напрямлену уздовж площини (мал. 21.16). Чому дорівнює ця сила, якщо вантаж, маса якого становить 120 кг, рухається рівномірно, висота похилої площини дорівнює 1 м, а довжина — 3 м? Вважайте, що тертям можна знехтувати.[1]

[1] *Відповідь*. 400 Н.



Мал. 21.16



Мал. 21.17

21.19. Візок рівномірно тягнуть догори по похилій площині за допомогою рухомого блока (мал. 21.17). Чому дорівнює маса візка, якщо $F = 120$ Н, довжина похилої площини — 1,6 м, а висота — 40 см?[1] [2]

4. «Золоте правило» механіки. Коефіцієнт корисної дії простих механізмів

«Золоте правило» механіки

Розглянувши прості механізми: важіль, блоки і похилу площину, ми виявили, що *виграш у силі завжди супроводжується програшем у переміщенні, а виграш у переміщенні супроводжується програшем у силі.*

Досліди і розрахунки доводять: якщо можна знехтувати тертям і масою самих механізмів, то

> за допомогою простих механізмів ми виграємо в силі у стільки разів, у скільки програємо в переміщенні, або ми виграємо в переміщенні у стільки разів, у скільки програємо в силі.

Це твердження називають *«золотим правилом» механіки.*

Оскільки добуток модуля сили на переміщення дорівнює механічній роботі, то із «золотого правила» механіки випливає, що

> жоден простий механізм не дає виграшу в роботі.

Таким чином, «золоте правило» механіки є наслідком закону збереження енергії в механічних процесах.

Коефіцієнт корисної дії простих механізмів

Використовуючи будь-який *простий механізм, неможливо отримати виграш* у роботі, але «втрати» в роботі будуть.

---

[1] *Порада.* Врахуйте, що рухомий блок дає виграш в силі у 2 рази.

[2] *Відповідь.* 96 кг.

Для характеристики «програшу» в роботі вводять *коефіцієнт корисної дії механізму*.

Коефіцієнт корисної дії η дорівнює відношенню корисної роботи $A_{\text{кор}}$ до виконаної роботи $A_{\text{вик}}$, вираженому у відсотках:

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{вик}}} \cdot 100\ \%\ .$$

Коефіцієнт корисної дії позначають ККД.

Розглянемо приклад знаходження ККД.

Вантаж, маса якого становить 20 кг, рівномірно піднімають за допомогою нерухомого блока, прикладаючи силу, що дорівнює 250 Н.

Позначимо масу вантажу m, прикладену силу F, висоту підйому вантажу h. Тоді

$$A_{\text{кор}} = mgh, \quad A_{\text{вик}} = Fh.$$

Звідси отримуємо

$$\eta = \frac{mgh}{Fh} \cdot 100\ \% = \frac{mg}{F} \cdot 100\ \% = \frac{20 \cdot 10}{250} \cdot 100\ \% = 80\ \%\ .$$

Зверніть увагу: розв'язуючи задачу, ми брали до уваги висоту піднімання вантажу h, хоча ця величина не вказана і її не потрібно знаходити. Так часто роблять, розв'язуючи задачі. Якщо задача розв'язана правильно, то у відповіді всі додатково введені величини будуть відсутні.

21.20. За допомогою важеля вантаж, маса якого становить 160 кг, підняли на 40 см, приклавши силу 700 Н, напрямлену вниз. Кінець важеля, до якого була прикладена ця сила, опустився на 80 см.

а) Чому дорівнює корисна робота з піднімання вантажу?

б) Чому дорівнює виконана робота з піднімання вантажу?

в) Чому дорівнює ККД цього важеля?[1]

21.21. По похилій площині завдовжки 10 м рівномірно піднімають вантаж, маса якого становить 120 кг, на висоту 2 м, прикладаючи силу, що дорівнює 300 Н, напрямлену вгору вздовж похилої площини.

а) Чому дорівнює корисна робота з піднімання вантажу?

б) Чому дорівнює виконана робота з піднімання вантажу?

в) Чому дорівнює ККД даної похилої площини?[2]

---

[1] *Відповідь.* а) 640 Дж. б) 560 Дж. в) 87,5 %.

[2] *Відповідь.* а) 2,4 кДж. б) 3 кДж. в) 80 %.

Оскільки в реальних умовах тертя завжди існує, а маси механізмів не дорівнюють нулю, ККД будь-якого реального механізму менший від 100 %.

Лабораторна робота № 11

Вимірювання ККД простого механізму

Мета: експериментально знайти ККД похилої площини.

Обладнання: дошка, дерев'яний брусок, динамометр, лінійка, штатив.

Перебіг роботи

1. За допомогою штатива зробіть з дошки похилу площину. Виміряйте і запишіть її довжину і висоту.

2. Динамометром рівномірно тягніть брусок угору по похилій площині і виміряйте прикладену силу. Запишіть результат.

3. Виміряйте вагу бруска. Запишіть результат.

4. Використовуючи отримані дані, знайдіть, чому дорівнює виконана робота і корисна робота. Запишіть результати.

5. Обчисліть ККД похилої площини в цьому випадку. Запишіть результат.

6. Зробіть висновки і запишіть їх.

Про що ми дізнались?

- *Важіль — це* тверде тіло, що може обертатися навколо нерухомої точки, яку називають точкою *опори*.
- *Плече l* сили, прикладеної до важеля, — це відстань від точки опори важеля до *прямої*, уздовж якої діє ця сила.
- *Умова рівноваги важеля:* важіль перебуває в рівновазі, якщо прикладені до нього сили прагнуть обертати його в протилежних напрямках, а модулі сил обернено пропорційні до плечей цих сил: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$.
- Якщо масою важеля і тертям можна знехтувати, то за використання важеля програють у переміщенні в стільки разів, у скільки виграють у силі.

- *Момент сили є добутком* модуля сили на плече цієї сили: $M = Fl$.
- *Одиницею СІ моменту сили* є *ньютон на метр* (Н·м).
- *Загальна умова рівноваги важеля полягає в тому, що сума моментів сил, які намагаються обертати* важіль в одному напрямку, дорівнює сумі моментів сил, що намагаються обертати його в протилежному напрямку (*правило моментів*).
- Нерухомий блок не дає виграшу в силі. Він не дає ні виграшу, ні програшу в переміщенні.
- Якщо тертям і масою блока можна знехтувати, рухомий блок дає виграш у силі вдвічі. За використання рухомого блока удвічі програють у переміщенні.
- Якщо тертям можна знехтувати, то похила площина дає виграш у силі в стільки разів, у скільки довжина похилої площини більша за її висоту.
- *«Золоте правило» механіки:* якщо можна знехтувати тертям і масою самих механізмів, то за допомогою простих механізмів ми виграємо в силі в стільки разів, у скільки програємо в переміщенні, або ми виграємо в переміщенні в стільки разів, у скільки програємо в силі.
- Жоден простий механізм не дає виграшу в роботі.
- «Золоте правило» механіки є наслідком закону збереження енергії в механічних процесах.
- ККД дорівнює відношенню корисної роботи $A_{кор}$ до виконаної роботи $A_{вик}$, вираженому у відсотках: $\eta = \frac{A_{кор}}{A_{вик}} \cdot 100\,\%$.
- ККД будь-якого реального механізму менший від 100 %.

Домашній експеримент

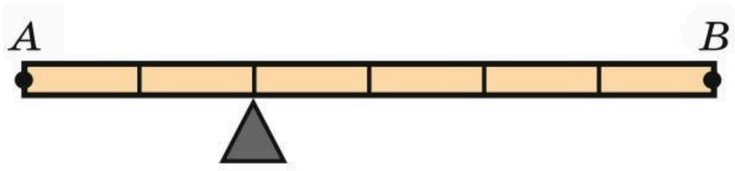


21.22. Зробіть важільні терези, за допомогою яких, використовуючи правило важеля, можна зважувати тіла, використовуючи як гирі те саме тіло, маса якого відома (наприклад, літровий пакет соку, маса якого приблизно дорівнює 1 кг).

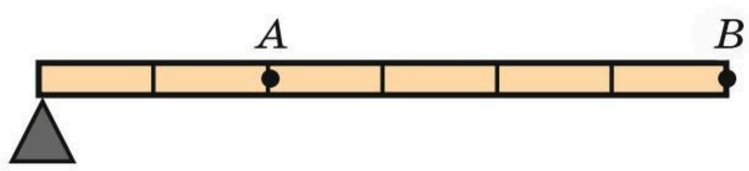
Додаткові запитання та завдання

Початковий і середній рівні

21.23. На малюнку 21.18 зображено важіль, масою якого можна знехтувати. Яку вертикально напрямлену силу необхідно прикласти в точці B, щоб важіль перебував у рівновазі, якщо сила, прикладена в точці A:
а) дорівнює 2 Н і напрямлена вниз?
б) дорівнює 6 Н і напрямлена вгору?



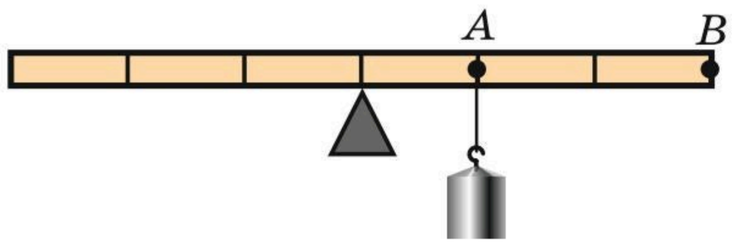
Мал. 21.18



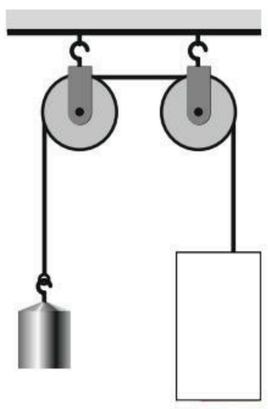
Мал. 21.19

21.24. На малюнку 21.19 зображено важіль, масою якого можна знехтувати. Яку вертикально напрямлену силу необхідно прикласти в точці B, щоб важіль перебував у рівновазі, якщо сила, прикладена в точці A:
а) дорівнює 3 Н і напрямлена вниз?
б) дорівнює 6 Н і напрямлена вгору?

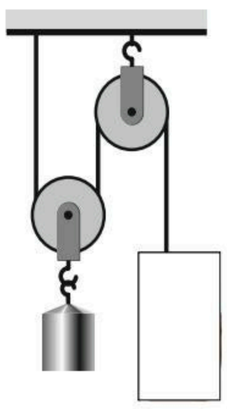
21.25. Яку вертикально напрямлену силу слід прикласти в точці B, щоб важіль, зображений на малюнку 21.20, перебував у рівновазі, якщо в точці A підвішений вантаж, маса якого становить 30 кг?



Мал. 21.20



Мал. 21.21



Мал. 21.22

21.26. Вантаж рівномірно піднімають за допомогою блока, прикладаючи вертикально напрямлену силу, що дорівнює 200 Н. Масою блока і тертям у ньому можна знехтувати. Яка маса вантажу, якщо:
а) блок нерухомий?
б) блок рухомий?

21.27. Під час піднімання вантажу, маса якого дорівнює 200 кг, за допомогою блока прикладають силу 1 кН. Який блок використовують у цьому випадку, якщо масою блока можна знехтувати?

21.28. Яку силу слід прикласти, щоб рівномірно підняти вантаж, маса якого становить 5 кг, за допомогою системи блоків, зображеної на малюнку 21.21? Масами блоків і тертям можна знехтувати.

21.29. Яку силу слід прикласти, щоб рівномірно підняти вантаж, маса якого становить 5 кг, за допомогою системи блоків, зображеної на малюнку 21.22? Масами блоків і тертям можна знехтувати.

21.30. Візок рівномірно переміщують по похилій площині, прикладаючи силу 100 Н, напрямлену вздовж похилої площини. Чому дорівнює маса візка, якщо довжина похилої площини 10 м, а висота 2 м? Тертям можна знехтувати.

21.31. Чому дорівнює ККД нерухомого блока, якщо під час його використання корисна робота дорівнює 1,5 кДж, а виконана робота дорівнює 2 кДж?

21.32. Яку вертикально напрямлену силу слід прикласти, щоб рівномірно підняти вантаж, маса якого дорівнює 160 кг, за допомогою рухомого блока, якщо ККД блока становить 80 %?

21.33. Вантаж, маса якого дорівнює 40 кг, рівномірно піднімають важелем на 1,2 м, виконуючи роботу 600 Дж. Чому дорівнює ККД важеля?

21.34. Уздовж похилої площини рівномірно піднімають вантаж, маса якого становить 18 кг, прикладаючи силу 40 Н, напрямлену уздовж похилої площині. Чому дорівнює ККД похилої площини, якщо її довжина 3 м, а висота 50 см? Тертям можна знехтувати.

Достатній рівень

21.35. На малюнку 21.23 зображено важіль, що перебуває у рівновазі. Масою важеля можна знехтувати.

а) У скільки разів маса одного з вантажів, підвішених до важеля, більша за масу іншого?

б) Чому дорівнюють маси вантажів, якщо їхня загальна маса становить 60 кг?

в) Чому дорівнюють маси вантажів, якщо вага одного з них на 24 Н більша за вагу іншого?

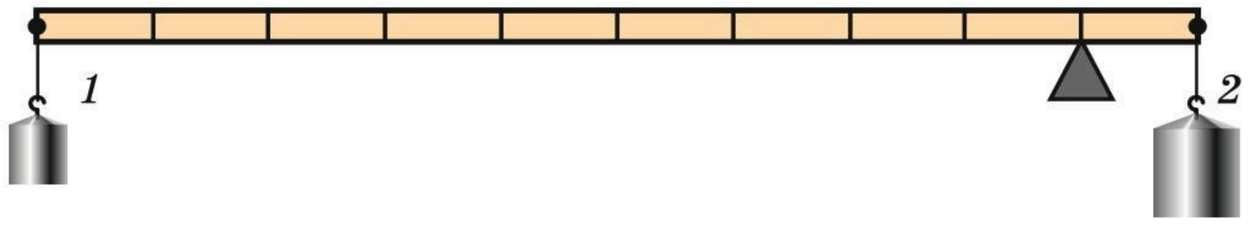
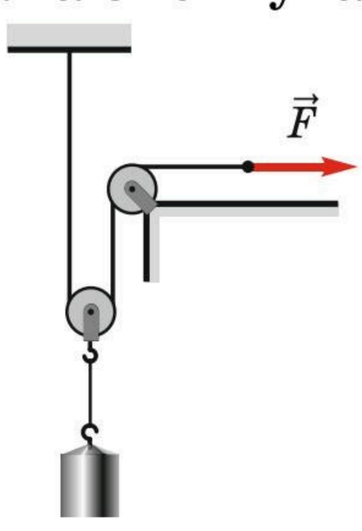


Рис. 21.23

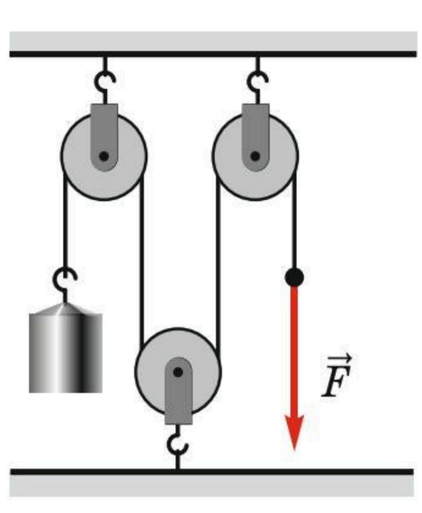
21.36. Плечі горизонтально розташованого важеля складають 40 см і 60 см. До одного з кінців важеля приклали силу 12 Н, напрямлену вниз. Яку силу треба прикласти до другого кінця важеля, щоб він перебував у рівновазі?[1]

21.37. На кінцях горизонтально розташованого легкого стрижня завдовжки 1 м підвішені вантажі, маси яких становлять 0,7 кг і 1,3 кг. Де потрібно розташувати точку опори, щоб стрижень перебував у рівновазі?[2]

21.38. За допомогою системи блоків, зображеної на малюнку 21.24, рівномірно піднімають вантаж, маса якого становить 10 кг. Яку силу прикладають до кінця троса? Масою блоків і тертям можна знехтувати.



Мал. 21.24



Мал. 21.25

21.39. За допомогою системи блоків, зображеної на малюнку 21.25, рівномірно піднімають вантаж, маса якого становить 20 кг. Яку силу прикладають до кінця троса? Масою блоків і тертям можна знехтувати.

21.40. Чому дорівнює ККД похилої площини, якщо під час її використання виграють у силі у 8 разів, а програють у переміщенні в 10 разів?

---

[1] *Порада.* Задача має два розв'язки.

[2] *Порада.* Оскільки стрижень легкий, то його масою можна знехтувати.

21.41. Вантаж рівномірно піднімають за допомогою рухомого блока, прикладаючи вертикально напрямлену силу, що дорівнює 200 Н. Чому дорівнює маса вантажу, якщо ККД блока становить 85 %?

Високий рівень

21.42. На кінцях важеля, масою якого можна знехтувати, підвішені вантажі 12 кг і 8 кг. Важіль перебуває в рівновазі, якщо точка опори розташована на відстані 10 см від його середини.
а) Чому дорівнює відношення плечей важеля?
б) Чому дорівнює довжина важеля?
в) Чому дорівнюють плечі важеля?

21.43. Коли куля підвішена до короткого плеча важеля, її зрівноважує гиря 1 кг, підвішена до довгого плеча важеля. А коли ця сама куля підвішена до довгого плеча важеля, її зрівноважує гиря 9 кг, підвішена до короткого плеча. Довжина важеля становить 80 см, масою важеля можна знехтувати.
а) Чому дорівнює відношення плечей важеля?
б) Чому дорівнюють плечі важеля?
в) Чому дорівнює маса кулі?[1]

21.44. За допомогою системи блоків, зображеної на малюнку 21.26, рівномірно піднімають вантаж, маса якого становить 20 кг. Яку силу прикладають до кінця троса? Масою блоків і тертям можна знехтувати.

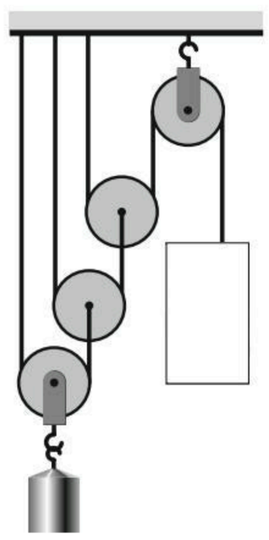


Рис. 21.26

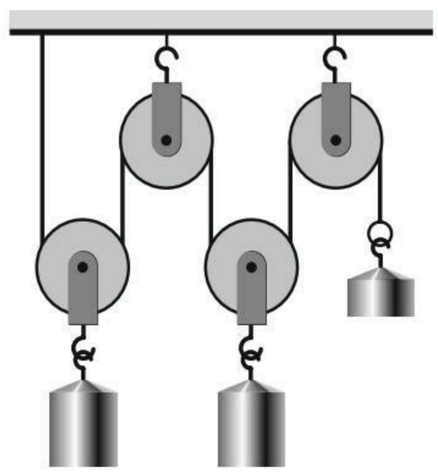


Рис. 21.27

[1] *Порада.* Введіть позначення плечей важеля і складіть систему рівнянь.

21.45. Вантаж, маса якого дорівнює 400 кг, піднімають за допомогою похилої площини і рухомого блока, прикладають силу, що становить 400 Н, і направлена уздовж похилої площині. Чому дорівнює висота похилої площини, якщо її довжина становить 10 м? Тертям знехтувати.

21.46. Гранітну плиту рівномірно піднімають з води за допомогою рухомого блока, прикладаючи вертикально напрямлену силу. У початковому стані плита повністю занурена у воду, а в кінцевому стані повністю перебуває над водою. Розміри плити — $10 \times 50 \times 60$ см. Масою блока і тертям можна знехтувати.
а) Чому дорівнює мінімальне значення прикладеної сили?
б) Чому дорівнює максимальне значення прикладеної сили?

21.47. Чому дорівнює маса меншої гирі в системі, зображеній на малюнку 21.27, якщо маса кожної з двох більших гир дорівнює 10 кг? Система перебуває в рівновазі, масою блоків і тертям можна знехтувати.

21.48. Запропонуйте, як, використовуючи блок і похилу площину, отримати виграш у силі в 6 разів. Зробіть пояснювальні рисунки.

21.49. Вантаж рівномірно піднімають за допомогою рухомого блока, маса якого становить 2 кг, прикладаючи вертикально напрямлену силу, що дорівнює 200 Н. Тертям можна знехтувати.
а) Чому дорівнює маса вантажу?
б) Чому дорівнює ККД блока в цьому випадку?

21.50. Вантаж рівномірно піднімають за допомогою рухомого блока, прикладаючи вертикально напрямлену силу. Тертям можна знехтувати. У скільки разів маса блока менша від маси вантажу, якщо ККД блока становить 75 %?

ГОЛОВНЕ В ЦЬОМУ РОЗДІЛІ

- Якщо напрямок сили *збігається* з напрямком переміщення, механічна робота A *додатна* і дорівнює добутку модуля сили F на модуль зміщення тіла s: $A = Fs$.
- Якщо напрямок сили *протилежний до* напрямку переміщення, механічна робота A *від'ємна* і дорівнює добутку модуля сили F на модуль переміщення тіла s зі знаком мінус: $A = -Fs$.
- Якщо напрямок сили *перпендикулярний* до напрямку переміщення, механічна робота A дорівнює *нулю*: $A = 0$.
- Одиницею роботи в СІ є *джоуль* (Дж). $1\ \text{Дж} = 1\ \text{Н} \cdot 1\ \text{м}$.
- Робота, яку виконують, щоб розтягнути, чи стиснути спочатку недеформовану пружину, обчислюють за формулою $A = \frac{kx^2}{2}$, де x — модуль кінцевої деформації пружини.
- *Потужність* N — це відношення виконаної роботи A до проміжку часу t, за який виконана ця робота: $N = \frac{A}{t}$.
- Одиницею потужності СІ є *ват* (Вт). $1\ \text{Вт} = \frac{1\ \text{Дж}}{1\ \text{с}}$.
- Потужність двигуна можна виразити через силу тяги і швидкість транспортного засобу за формулою $N = Fv$.
- Фізичну величину, яка характеризує здатність тіла або системи тіл виконувати роботу внаслідок зміни *швидкості* тіла або *взаємного розташування тіл, що взаємодіють*, називають *механічною енергією*.
- Коли тіло або система тіл виконує *додатну* роботу, механічна енергія цього тіла (системи тіл) *зменшується* на величину, яка дорівнює виконаній роботі.
- Коли тіло або система тіл виконує *від'ємну* роботу, енергія цього тіла (системи тіл) *збільшується* на величину, що дорівнює виконаній роботі.
- Одиницею енергії СІ є *джоуль* (Дж).
- Механічна енергія дорівнює сумі *кінетичної* і *потенціальної* енергії.

- Фізичну величину, що дорівнює роботі, яку виконує рухоме тіло, коли його швидкість знижується до повної зупинки, називають *кінетичною енергією* цього тіла. Виражають формулою $E_k = \frac{mv^2}{2}$, де m — маса тіла, v — модуль його швидкості.
- Фізичну величину, яка характеризує здатність системи тіл, які *взаємодіють*, виконувати роботу за рахунок зміни взаємного розташування тіл (або частин тіла), називають *потенціальною* енергією.
- Потенціальну енергію піднятого тіла виражають формулою $E_p = mgh$, де m — маса тіла, h — висота, на яку підняте тіло.
- Потенційну енергію деформованої пружини виражають формулою $E_p = \frac{kx^2}{2}$, де k — жорсткість пружини, x — величина деформації тіла (розтягнення або стиснення).
- *Кінетична і потенціальна енергії можуть перетворюватися одна в одну.*
- *Закон збереження енергії в механічних процесах*: якщо тертям і опором середовища можна знехтувати, механічна енергія взаємодіючих тіл *зберігається*.
- *Енергія — це фізична величина, яка характеризує здатність тіла або системи* тіл, що взаємодіють, виконувати роботу за зміни стану тіла або системи тіл.
- *Закон збереження енергії*: енергія не виникає і не зникає, а може лише перетворюватися з одного виду в інший, а також переходити з одного тіла до іншого.
- *Важіль — це* тверде тіло, яке може обертатися навколо нерухомої точки, яку називають точкою *опори*.
- *Плече l* сили, прикладеної до важеля, — це відстань від точки опори важеля до *прямої*, уздовж якої діє ця сила.
- *Умова рівноваги важеля:* важіль перебуває в рівновазі, якщо прикладені до нього сили прагнуть обертати його в протилежних напрямках, а модулі сил обернено пропорційні до плечей цих сил: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$.

- Якщо масою важеля і тертям можна знехтувати, то при використанні важеля програють у переміщенні у стільки разів, у скільки виграють у силі.
- *Момент сили є добутком* модуля сили на плече цієї сили: $M = Fl$.
- *Одиницею СІ моменту сили є ньютон на метр* (Н · м).
- *Загальна умова рівноваги важеля полягає в тому, що сума моментів сил, які намагаються обертати* важіль в одному напрямку, дорівнює сумі моментів сил, що намагаються обертати його в протилежному напрямку (*правило моментів*).
- Нерухомий блок не дає виграшу в силі. Він не дає ні виграшу, ні програшу в переміщенні.
- Якщо тертям і масою блока можна знехтувати, рухомий блок дає виграш у силі у 2 рази. Під час використання рухомого блока удвічі програють у переміщенні.
- Якщо тертям можна знехтувати, то похила площина дає виграш у силі в стільки разів, у скільки довжина похилої площини більша за її висоту.
- *«Золоте правило» механіки:* якщо можна знехтувати тертям і масою самих механізмів, то за допомогою простих механізмів ми виграємо в силі у стільки разів, у скільки програємо в переміщенні, або ми виграємо в переміщенні у стільки разів, у скільки програємо в силі.
- Жоден простий механізм не дає виграшу в роботі.
- «Золоте правило» механіки є наслідком закону збереження енергії в механічних процесах.
- ККД дорівнює відношенню корисної роботи $A_{\text{кор}}$ до виконаної роботи $A_{\text{вик}}$, вираженому у відсотках: $\eta = \dfrac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{вик}}} \cdot 100\,\%$.
- ККД будь-якого реального механізму менший від 100 %.

ВІДПОВІДІ

3.15. Близько 0,000001 мм.

5.27. Міг стартувати потяг на сусідній колії або потяг, що перевозив Юрка, або обидва потяги одночасно. **5.32.** а) 130 км. б) Ні. Можна, наприклад, дописати, що дорога пряма. **5.33.** Можуть. **5.34.** а) 1,5 м; 1 м; 2,5 м. б) 1,5 м; 1 м; 0,5 м. **5.35.** 100 км або 200 км.

6.19. 16,7 м/с. **6.20.** а) Міг. б) Не обов'язково (мотоцикліст міг, наприклад, проїхати 25 км за перші пів години, а за другі пів години — 35 км). **6.24.** Через 45 хв. **6.28.** а) Не наздожене. б) Якщо початкова відстань менша, ніж 300 м. **6.29.** а) 2 год. б) 1,5 год і 2,5 год.

7.7. 72 км/год. **7.8.** а) 15 км/год. б) 16,4 км/год. **7.9.** а) 80 км/год. б) 40 км/год. в) 50 км/год. г) Ні. **7.10.** а) 54 км/год. б) 60 км/год. **7.11.** Середні швидкості велосипедистів рівні. б) Швидкість Михайла між зупинками у 2 рази більша. **7.12.** а) 14 км/год. б) 17,5 км/год. **7.13.** а) Часи руху на ділянках мають бути рівними. б) Довжина другої ділянки в 1,25 рази більша. **7.14.** б) 42 км/год. **7.15.** а) 10 км. б) 13,3 км/год. в) 1 год; 30 хв.

8.24. 0,6 м/с. **8.25.** Від удару килим рухається, а пил через явище інерції залишається на місці. Тому правильніше буде сказати, що килим вибивають з пилу. **8.26.** Номер не є небезпечним. Завдяки інертності масивна пластина набуває невеликої швидкості після удару, у результаті чого вплив значно пом'якшується. **8.27.** Через інертність масивної кулі, після різкого ривка нижньої нитки, вона набуває незначної швидкості і тому не встигає зміститися настільки, щоб розірвати верхню нитку. **8.28.** 40 кг.

9.24. Може. **9.25.** 135 г. **9.26.** 4,1 мм. **9.28.** Алюмінієвий; у 3,3 раза. **9.28.** 180 г. **9.30.** 10,4 г. **9.31.** а) 670 г. б) 270 г. **9.32.** 1,92 $см^3$. б) Маса золотої кульки — 37,1 г, маса мідної кульки — 17,1 г. **9.33.** $9{,}7 \cdot 10^3$ $кг/м^3$.

11.19. Жорсткість другої пружини удвічі більша за жорсткість першої. **11.20.** Жорсткість другої пружини втричі більша за жорсткість першої. **11.22.** 28 Н. **11.23.** а) 500 Н/м. б) 6 см. в) 35 Н. **11.25.** Жорсткість половини пружини у 2 рази більша, ніж жорсткість цілої пружини. **11.29.** 16 см.

12.14. а) Не змінюється. б) Коли яблуко висить на гілці і лежить на землі, вага яблука дорівнює силі тяжіння, що діє на яблуко; коли яблуко падає, вага яблука дорівнює нулю. **12.16.** 25 Н. 9. 20 л. **12.18.** Зважитися потрібно спочатку самому, а потім — з песиком у руках. **12.20.** Наприклад, з дуба. **12.21.** а) Має порожнину. б) 300 $см^3$. **12.22.** 19,4 Н. **12.23.** На 34 Н.

13.8. Сила повинна перевищувати 240 Н. **13.10.** а) 5 Н. б) 0,2. в) 3 Н. **13.11.** а) 0,4. б) 2,8 Н. **13.12.** а) У 3 рази. б) 0,2 і 0,6. **13.13.** а) Легше тягнути. б) У 2,5 раза. **13.14.** 0,3. **13.15.** а) Ні. б) Менше 50 кг. **13.16.** Більшу за 6 Н. **13.17.** а) 4 кг. б) 0,2.

14.11. 5 кПа. **14.12.** 5 кПа. **14.13.** Збільшився на 400 Па. **14.14.** 1,6 м. **14.15.** 60 кПа. **14.16.** а) Збільшиться у 2 рази. б) Не зміниться. в) Збільшиться у 2 рази. **14.17.** а) 5 кПа. б) 0,5 $дм^2$. **14.18.** 0,8 кг. **14.19.** 200 Па. **14.20.** 4 мм. **14.21.** 156 кПа; зайвим є радіус колони.

15.8. 100 Н.

16.8. Наприклад, бензин. **16.9.** 3 кПа. **16.10.** 15,5 кПа. **16.11.** а) Збільшиться. б) Не зміниться. **16.12.** 250 т. **16.13.** 10 кПа. **16.14.** а) 14,6 кПа. б) 3,7 кПа. **16.15.** а) Вищий рівень гасу. б) 4 см. **16.16.** 480 Н.

17.20. 30 м. **17.22.** У посудині *A* тиск становить 560 мм рт. ст., в посудині *B* становить 160 мм рт. ст., в посудині *C* — 1160 мм рт. ст. **17.23.** б) 560 мм рт. ст.

18.19. а) 0,5 Н. **18.20.** Що об'єм бруска становить 300 $см^3$. **18.21.** 500 $кг/м^3$. **18.22.** 250 $кг/м^3$. **18.24.** 62 Н. **18.25.** а) 1. б) Сила Архімеда, що діє на мармурову кульку, в 3,15 раза більша.

18.26. а) 440 г. б) 1570 кг/м^3. **18.27.** 950 Н. **18.28.** а) Може. б) Не можна. **18.30.** Середня густина людського тіла менша, ніж густина води. **18.32.** а) У воді. б) 2 дм^3. **18.33.** Наприклад, бензин. **18.34.** а) Порожниста. б) 1 дм^3. **18.35.** а) 1 Н. б) 100 см^3. в) Не зміниться. **18.36.** Глибина занурення буде такою самою. **18.38.** Більша за 5,4 т.

19.8. 10 Дж; –10 Дж. **19.9.** а) 500 Дж. б) –500 Дж. **19.10.** а) 20 кН. б) 80 кДж. в) 10 кВт. **19.11.** а) 20 кВт. б) 420 кг. **19.12.** а) 0. б) 2 Дж. **19.13.** 0,5. **19.14.** 860 Дж. **19.15.** а) 400 кг. б) 80 кДж. **19.16.** 500 Н. **19.17.** 20 кН. **19.18.** а) 300 Н. б) 15 м. **19.19.** а) 2,16 МДж. б) 12 хв. **19.20.** 10 см. **19.21.** а) 13,6 кН. б) 25 кН. в) 20,5 кДж. г) 9,65 кДж. ґ) 37,5 кДж. д) 67,55 кДж. **19.22.** а) 100 Н. б) 0,5 Дж.

20.11. 5 Дж. **20.12.** Збільшується в 4 рази. **20.13.** 600 кДж. **20.14.** Зменшиться в 9 разів. **20.16.** Швидкість вантажівки має бути в 2 рази менша від швидкості легкового автомобіля. **20.17.** а) Піднімався. б) 20 м. **20.18.** а) 2 см. б) 0,04 Дж. в) 0,04 Дж. **20.19.** 5 м. **20.20.** а) 5 м. б) 2,5 м. **20.22.** 154 м. **20.23.** а) У олов'яної; у 2,7 раза. б) Швидкості куль рівні. в) В олов'яної; у 2,7 раза. **20.24.** а) Збільшується. б) Зменшується.

21.23. а) 1 Н, напрямлену вниз. б) 3 Н, напрямлену вгору. **21.24.** а) 1 Н, напрямлену вгору. б) 2 Н, напрямлену вниз. **21.25.** 100 Н, напрямлена вгору. **21.26.** а) 20 кг. б) 40 кг. **21.27.** Рухомий. **21.28.** 50 Н. **21.29.** 25 Н. **21.30.** 50 кг. **21.31.** 75 %. **21.32.** 1 кН. **21.33.** 80 %. **21.34.** 75 %. **21.35.** а) 9 разів. б) 6 кг і 54 кг. в) 0,3 кг і 2,7 кг. **21.36.** 18 Н, якщо ця сила прикладена до довшого плеча важеля; 8 Н, якщо ця сила прикладена до коротшого плеча важеля. **21.37.** На відстані 35 см від точки підвісу більшого вантажу. **21.38.** 50 Н. **21.39.** 200 Н. **21.40.** 80 %. **21.41.** 34 кг. **21.42.** а) 2 : 3. б) 1 м. в) 40 см і 60 см. **21.43.** а) 1 : 3. б) 20 см і 60 см. в) 3 кг. **21.44.** 25 Н. **21.45.** 2 м. **21.46.** а) 240 Н. б) 390 Н. **21.47.** 5 кг. **21.49.** а) 38 кг. б) 95 %. **21.50.** У 3 рази.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

А
Атмосфера
Атом
Б
Барометр
Блок
— нерухомий
— рухомий
В
Вага тіла
Важіль
Ват
Видовження
Г
Гіпотеза
Графік
— швидкості руху
— шляху
Густина
Д
Деформація
Джоуль
Динамометр
Дифузія
Е
Експеримент (дослід)
Енергія
— кінетична
— повна механічна
— потенціальна
Ж
Жорсткість
З
Закон
— Архімеда
— Гука
— збереження і перетворення енергії
— збереження і перетворення механічної енергії
— Паскаля
І
Інерція
Інертність
К
Кілограм
Коефіцієнт
— корисної дії
— тертя ковзання
— — спокою
М
Манометр
Маса тіла
Матеріальна точка
Матерія
Межі вимірювання приладу
Міжнародна система одиниць СІ
Молекула
Момент сили
Н
Невагомість
Ньютон
О
Одиниця фізичної величини
— кратна
— частинна
П
Паскаль
Переміщення
Плече сили
Посудини сполучені
Потужність
Похибка вимірювання
Похила площина
Правило
— важеля
— моментів
Прес гідравлічний
Р
Речовина
Робота механічна

Рух
— за інерцією
— механічний
— нерівномірний
— рівномірний
— прямолінійний
С
Сила
— архімедова (виштовхувальна)
— натягу підвісу
— нормальної реакції опори
— пружності
— рівнодійна
— тертя ковзання
— тертя кочення
— тертя спокою
— тяжіння
Система відліку
Спостереження
Т
Тіло
— відліку
— фізичне
Тиск
— атмосферний
— гідростатичний
Траєкторія руху
Ф
Фізика
Фізична величина
Фізичне дослідження
— явище
Ц
Ціна поділки шкали приладу
Ш
Швидкість
— рівномірного руху
— середня
Шлях

ЗМІСТ

Передмова 3
Кабінет фізики. Правила безпечної поведінки учнів / учениць на уроках фізики 4

Розділ I. Фізика і астрономія — науки про природу

§ 1. Що вивчає фізика? 7
§ 2. Наукове пізнання природи 25
§ 3. Речовина і поле. Будова речовини 30
Лабораторна робота 1 39
§ 4. Фізичні величини та їх вимірювання 43
Лабораторна робота 2 49
Лабораторна робота 3 49
Лабораторна робота 4 50

Розділ II. Механічний рух та його характеристики

§ 5. Основні характеристики механічного руху 54
§ 6. Прямолінійний рівномірний рух 65
§ 7. Прямолінійний нерівномірний рух 75
Головне в цьому розділі 82

Розділ III. Сили в природі

§ 8. Явище інерції. Маса тіла 85
Лабораторна робота 5 91
§ 9. Густина речовини 94
Лабораторна робота 6 96
§ 10. Взаємодія тіл. Сили в механіці 102
§ 11. Сила пружності. Рівнодійна. Додавання сил 112
Лабораторна робота 7 117
§ 12. Сила тяжіння. Вага 123
§ 13. Тертя 130
Лабораторна робота 8 132
Головне в цьому розділі 139

Розділ IV. Тиск твердих тіл, рідин і газів

§ 14. Тиск. Тиск твердих тіл 143
§ 15. Тиск рідин і газів. Закон Паскаля 148

§ 16. Залежність тиску рідини від глибини. Закон сполучених посудин.....152
§ 17. Атмосферний тиск 158
§ 18. Виштовхувальна сила в рідинах і газах. Закон Архімеда. Плавання тіл 167
Лабораторна робота 9 176
Головне в цьому розділі.....180

Розділ V. Механічна Робота і потужність. Енергія

§ 19. Механічна робота. Потужність.....183
§ 20. Механічна енергія. Закон збереження енергії в механічних процесах 191
§ 21. Прості механізми 202
Лабораторна робота 10 207
Лабораторна робота 11 214
Головне в цьому розділі.....221
Відповіді 224
Алфавітний покажчик 227

ТАБЛИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

ГУСТИНА ТВЕРДИХ ТІЛ

Речовина	ρ , кг/м^3	ρ , г/см^3
Алюміній	2 700	2,7
Бетон	2 200	2,2
Граніт	2 600	2,6
Дуб (сухий)	800	0,8
Залізо	7 800	7,8
Золото	19 300	19,3
Кварц	2 600	2,6
Корок	240	0,24
Латунь	8 500	8,5
Лід	900	0,9
Мармур	2 700	2,7
Мідь	8 900	8,9
Нікель	8 900	8,9
Олово	7 300	7,3
Парафін	900	0,9
Пісок (сухий)	1 500	1,5
Платина	21 500	21,5
Свинець	11 300	11,3
Срібло	10 500	10,5
Сосна (суха)	400	0,4
Скло	2 500	2,5
Сталь	7 800	7,8
Фарфор	2 300	2,3
Цегла	1 600	1,6
Цинк	7 100	7,1
Чавун	7 000	7,0
Ялина (суха)	600	0,6

ГУСТИНА РІДИН

Речовина	ρ , кг/м^3
Бензин	710
Вода	1 000
Гас	800
Нафта	800
Олія машинна	900
Олія соняшникова	930
Ртуть	13 600
Спирт	800

ГУСТИНА ГАЗІВ

(за температури 0 °С і тиску 760 мм рт. ст.)

Речовина	ρ , кг/м^3
Повітря	1,29
Водень	0,09
Гелій	0,18

ЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ ДЛЯ ДЕЯКИХ ВИДІВ ПОВЕРХОНЬ

Поверхні	μ
Сталь по льоду	0,015
Сталь по сталі	0,03–0,09
Дерево по дереву	0,2–0,5
Шини по сухому асфальту	0,5–0,7
Шини по мокрому асфальту	0,35–0,45
Шини по гладкому льоду	0,15–0,20

ОСНОВНІ ФОРМУЛИ КУРСУ ФІЗИКИ 7 КЛАСУ

Швидкість прямолінійного рівномірного руху $v = \frac{l}{t}$.

Середня швидкість $v_c = \frac{l}{t}$.

Густина речовини $\rho = \frac{m}{V}$.

Закон Гука $F_{пр} = kx$.

Сила тяжіння $F_т = gm$, де $g = 9{,}8$ Н/кг.

Сила тертя ковзання $F_{тер} = \mu N$.

Тиск $p = \frac{F}{S}$.

Тиск у рідині на глибині $p = \rho gh$.

Закон Архімеда $F_A = \rho_{рід} gV$.

Механічна робота $A = Fs$.

Потужність $N = \frac{A}{t}$.

Потужність $N = Fv$.

Кінетична енергія $E_к = \frac{mv^2}{2}$.

Потенційна енергія піднятого тіла $E_p = mgh$.

Потенційна енергія деформованої пружини $E_p = \frac{kx^2}{2}$.

Умова рівноваги важеля …
Момент сили $M = Fl$.

ДЕЯКІ МАТЕМАТИЧНІ ФОРМУЛИ

Довжина кола $l = \pi D = 2\pi R$

Площа круга $S = \frac{\pi D^2}{4} = \pi R^2$

Площа поверхні кулі $S = 4\pi R^2$

Об’єм кулі $V = \frac{4}{3}\pi R^3$

Об’єм прямокутного паралелепіпеда $V = abc$

Об’єм циліндра $V = Sh = \pi R^2 h$