

Л. Е. Генденштейн, І. Ю. Ненашев

ФІЗИКА

П І Д Р У Ч Н И К

10

клас

Рівень стандарту

Рекомендовано

Міністерством освіти і науки України

Харків
«Гімназія»
2010

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я721
Г34

*Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України
для використання у загальноосвітніх навчальних закладах*

ДО ВЧИТЕЛЯ ТА УЧНЯ

- Підручник призначено для вивчення фізики в 10-му класі за рівнем стандарту (2 уроки на тиждень).
- Автори прагнули подати фізику як живу науку, що є частиною загальної культури: наведено багато *прикладів* виявлення та застосування фізичних законів у навколишньому житті, відомостей з історії фізичних *відкриттів*, подано ілюстрований опис фізичних *дослідів*.
- *Чітка структура підручника* полегшує розуміння навчального матеріалу. У тексті виділено головне, а в кінці параграфів і розділів зібрано висновки для узагальнення, повторення та конспекту.
- Виклад ведеться у формі *діалогу*: багато розділів починаються із *запитань*, відповідями на які є зміст цих розділів.
- Один параграф підручника розраховано приблизно *на один навчальний тиждень*. Приблизне поурочне планування наведено в «Методичних матеріалах для вчителя», що є частиною навчально-методичного комплекту.
- У кінці кожного параграфа наведено *запитання та завдання для самоперевірки*. Додаткові завдання наведено в Збірнику завдань і самостійних робіт, що є частиною навчально-методичного комплекту.

Генденштейн Л. Е.

Г34 Фізика, 10 кл. : підруч. для загальноосвітніх навч. закладів / Генденштейн Л. Е., Ненашев І. Ю. — Х. : Гімназія, 2010. — 272 с. : іл.

ISBN 978-966-474-098-9.

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я721

© Л. Е. Генденштейн, І. Ю. Ненашев, 2010
© ТОВ ТО «Гімназія», оригінал-макет,
художнє оформлення, 2010

ISBN 978-966-474-098-9

ВСТУП

1. Зародження та розвиток фізики як науки
2. Роль фізичного знання в житті людини й розвитку суспільства
3. Методи наукового пізнання
4. Фізика і техніка в Україні

1. ЗАРОДЖЕННЯ ТА РОЗВИТОК ФІЗИКИ ЯК НАУКИ

Слово «фізика» походить від давньогрецького слова «природа». Так назвав першу відому нам наукову працю про природні явища давньогрецький учений Арістотель, який жив у 4-му столітті до нашої ери.

Книга Арістотеля служила основним «підручником фізики» протягом майже двох тисячоліть. Наступний важливий крок у розвитку фізики зробив великий італійський учений Галілео Галілей (1564–1642). Його вважають основоположником фізики в її сучасному розумінні — як *дослідної* (експериментальної) науки. Галілей спростував на дослідях деякі важливі положення вчення Арістотеля.

Фізика досліджує механічні, теплові, електромагнітні, світлові явища, а також будову речовини. Завданням фізики, як і інших наук, є пошук *законів*, за допомогою яких можна пояснювати та передбачати широке коло явищ.

2. РОЛЬ ФІЗИЧНОГО ЗНАННЯ В ЖИТТІ ЛЮДИНИ Й РОЗВИТКУ СУСПІЛЬСТВА

Навчившись передбачати фізичні явища і керувати ними, людина стала «велетнем»: вона створила двигуни, у мільйони разів потужніші за людські руки, комп'ютери, що розширили можливості науки, техніки та мистецтва, об'єднала всіх людей Землі надійними системами зв'язку.

Чудеса сучасної техніки з'явилися насамперед завдяки фізиці: без знання фізичних законів неможливо проектувати й використовувати машини, механізми, прилади, космічні апарати тощо.

Однак справа не тільки в «практичній» цінності фізики: знання фізики необхідне кожному з нас, щоб задовольнити природну цікавість у розумінні навколишнього світу.

Фізичні знання та методи народжують нові науки, наприклад біофізику, геофізику, астрофізику.

3. МЕТОДИ НАУКОВОГО ПІЗНАННЯ

СПОСТЕРЕЖЕННЯ, НАУКОВА ГІПОТЕЗА Й ЕКСПЕРИМЕНТ

Явища світу, що нас оточує, надзвичайно складні, адже кожне з них залежить від дуже багатьох причин. Але, уважно спостерігаючи те чи інше явище, ми зауважуємо, що якісь причини більш істотні для його протікання, а якісь — менш істотні.

Зі *спостережень* виникають припущення, що для цілого кола явищ існують певні закономірності. Такі припущення називають науковими *гіпотезами*.

Щоб перевірити гіпотезу, учені проводять *досліди* (експерименти) з метою з'ясувати, як змінюється перебіг явищ у разі зміни умов їх перебігу. Для цього створюються *спеціальні умови*. Наприклад, в експериментах з вивчення руху Галілей намагався зменшити роль тертя.

Так від *спостережень* учені переходять до *експериментів*, тобто починають «ставити запитання природі».

НАУКОВІ МОДЕЛІ ТА НАУКОВА ІДЕАЛІЗАЦІЯ

Для формулювання гіпотези, постановки експерименту та пояснення його результатів необхідно побудувати *модель* певного об'єкту, явища або процесу — спрощене, схематизоване уявлення, у якому виділено найбільш важливі риси. Прикладами таких моделей є *матеріальна точка* — тіло, розмірами якого в даній задачі можна знехтувати, або *ідеальний газ* — такий газ, розміри молекул якого нехтувано малі, причому взаємодія між молекулами відбувається тільки в разі їх зіткнень.

Повністю усунути в експерименті «перешкоди», як правило, не вдається. Але за результатами експерименту іноді можна здогадатися про те, що мало б спостерігатися в «ідеальній» ситуації, тобто в разі, коли всі перешкоди було б усунуто цілком. Цю ідеальну ситуацію називають *науковою ідеалізацією*. Саме вона дозволяє побачити простоту законів, що криються за зовнішньою складністю явищ.

З прикладами наукової ідеалізації ми будемо неодноразово зустрічатися в нашому курсі.

З поняттям наукової ідеалізації пов'язане поняття *уявної експерименту*, тобто експерименту, проведеного за допо-

могою уяви. При цьому особливе значення має логічна несуперечність результатів уявного експерименту.

Важливим прикладом наукової ідеалізації є так зване «вільне тіло», тобто тіло, на яке не діють інші тіла. *Цілком* вільних тіл зазвичай не існує: навіть галактики, що віддалені одна від одної на величезну відстань, взаємодіють між собою. Однак, поставивши уявний експеримент, тобто подумки продовживши закономірність, виявлену на дослідах з реальними тілами, можна *уявити* тіло, що зовсім не взаємодіє з будь-якими іншими тілами. Роздуми про те, як рухатимуться такі тіла, привели Галілея до відкриття закону інерції.

НАУКОВИЙ ЗАКОН І НАУКОВА ТЕОРІЯ

Коли гіпотеза про перебіг фізичних явищ підтверджується експериментом, вона стає *фізичним законом*.

Основний зміст механіки становлять три закони, сформульовані видатним англійським ученим Ісааком Ньютоном (знамениті «три закони Ньютона»), закон всесвітнього тяжіння (відкритий теж Ньютоном), а також закономірності для сил пружності та сил тертя. Для газових процесів відкрито закони, що описують залежність між тиском, об'ємом і температурою газу. Взаємодія електрично заряджених частинок, що перебувають у спокої, підпорядковується закону, відкритому французьким фізиком Шарлем Кулоном.

Сукупність законів, що описують широке коло явищ, називається *науковою теорією*. Наприклад, закони Ньютона становлять зміст класичної механіки.

Поряд із законами наукова теорія містить *означення* фізичних величин і понять, за допомогою яких формулюються закони цієї теорії. Дуже важливо, щоб усі обумовлені у фізичній теорії величини могли бути *виміряні на досліді*, оскільки справедливість фізичних законів і теорій може бути перевірено тільки дослідним шляхом.

ПРИНЦИП ВІДПОВІДНОСТІ

Поява нової фізичної теорії не скасовує «стару» теорію, а *уточнює та доповнює* її. Однією з найважливіших вимог під час створення нових фізичних теорій є *принцип відповідності*, згідно з яким передбачення нової теорії повинні збігатися з передбаченнями «старої» теорії в межах її застосовності. Це означає, що нова теорія має включати «стару» теорію як окремий, граничний випадок. Принцип відповідності сформулював на початку 20-го століття данський фізик Нільс Бор — один із творців квантової механіки.

Так, передбачення спеціальної теорії відносності стосуються головним чином руху тіл зі швидкостями, порівняними зі швидкістю світла, але вони збігаються з передбаченнями класичної механіки, якщо швидкості руху тіл набагато менші від швидкості світла. Квантову механіку було розроблено для опису рухів частинок з надзвичайно малою масою (наприклад, електронів), але вона «перетворюється» на класичну, якщо маси тіл досить великі.

СУЧАСНА ФІЗИЧНА КАРТИНА СВІТУ

Сучасна фізична картина світу заснована на уявленні про те, що *речовина складається з дрібних частинок, між якими існує кілька видів фундаментальних взаємодій*. Це — сильні взаємодії, електромагнітні, слабкі та гравітаційні. У другій половині 20-го століття електромагнітні взаємодії було об'єднано зі слабкими в «електрослабку» взаємодію. Сьогодні продовжуються інтенсивні спроби побудови «великого об'єднання» — теорії, що дозволила б об'єднати усі відомі види взаємодій.

4. ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Уся історія людства — це драматична історія пізнання людиною невідомого в довколишньому середовищі та спроби поставити собі на службу це невідоме. Завдяки цим спробам виникли природничі науки: астрономія, біологія, географія, хімія. Фізика з цілковитою підставою посідає серед них головне місце. Адже саме фізика впродовж століть визначала науково-технічний прогрес людства. Транспорт, енергетика, польоти в космос, сучасна електроніка — наше сучасне життя неможливе без використання досягнень фізичної науки. У майбутньому фізика напевно відіграватиме більш важливу та значну роль у розвитку людства. І судити про країну будуть по тому, якого рівня розвитку досягнула фізика в цій країні.

Наша країна може гордитися рівнем наукових досліджень, які проводяться у численних науково-дослідних центрах, рівнем технічного втілення наукових відкриттів.

Ядерна фізика і фізика плазми, фізика твердого тіла і фізика напівпровідників, сучасна електроенергетика, створення перших електронно-обчислювальних машин, авіа- і гелікоптеробудування, ракетна техніка і виробництво автомобілів, суднобудування і виробництво залізничного транспорту, сучасна техніка радіолокації — ось неповний перелік тих галузей фізики і техніки, у яких Україна є розвиненою державою.

ЯДЕРНА ФІЗИКА

В історії людства не було наукової події, видатнішої за наслідками, ніж відкриття ділення ядер урану та опанування ядерною енергією. Людина отримала у своє розпорядження могутнє джерело енергії, зосереджене в ядрах атомів.

Дослідження в галузі атомної фізики в Україні розпочалися в 1928 році, коли в Харкові, за ініціативою відомого вченого А. І. Іоффе, було створено Український фізикотехнічний інститут (УФТІ). Через кілька років після заснування інституту, у 1932 році, молоді співробітники Антон Вальтер, Георгій Латішев, Олександр Лейпунський і Кирило Синельников уперше в Європі розщепили ядро атома — це було ядро літію (рис. В-1). У 30-х роках під керівництвом Льва Ландау в інституті починаються теоретичні дослідження атомного ядра та ядерних процесів. Квантова механіка, фізика твердого тіла, магнетизм, фізика низьких температур, фізика космічних променів, гідродинаміка, квантова теорія поля, фізика атомного ядра і фізика елементарних частинок, фізика плазми — у всіх цих галузях фізики Ландау вдалося зробити відкриття. Про нього говорили, що у «величезній будівлі фізики 20-го століття для нього не було замкнених дверей».

Ландау був нагороджений Нобелівською премією з фізики, обраний членом Лондонського королівського товариства та академії наук Данії, Нідерландів, США, Франції, Лондонського фізичного товариства. Немає у світі жодного фізика-

теоретика, який не знає знаменитого «Курсу теоретичної фізики», основним автором якого був Ландау.

Дослідження взаємодії нейтронів з ядрами урану, проведені в 1939–1941 роках, свідчили про принципову можливість здійснення ланцюгової ядерної реакції і вивільнення внутрішньоядерної енергії. У 1940 році Фрідріх Ланге, Володимир Шпінель і Віктор Маслов подали заявку на винахід атомної бомби і здобуття в промислових масштабах урану.



Рис. В-1

Учені України внесли істотний вклад до пошуку методів отримання й використання атомної енергії в мирних цілях. Із середини 20-го століття дослідження атомного ядра проводяться в Інституті фізики і Інституті ядерних досліджень України (Київ). Результати цих досліджень — ядерні реактори і системи управління ядерними процесами, а також атомна промисловість.

На сьогодні в Україні більше ніж половина електроенергії виробляється на чотирьох атомних електростанціях: Запорізькій, Рівненській, Хмельницькій і Південно-Українською АЕС.

Запорізька АЕС — найпотужніша атомна електростанція в Європі і третя за потужністю у світі.

ФІЗИКА ПЛАЗМИ

Плазма — це газоподібний стан речовини, за якого значна частина атомів йонізовані, тобто розпалися на позитивно заряджені йони та електрони. Дослідження плазми почалися ще в 19 столітті, коли розвиток вакуумної техніки дав змогу фізикам виготовити перші газорозрядні трубки. Дослідження газового розряду — а це один з видів плазми — привели до відкриття рентгенівських променів і електрона, створення нових джерел світла та апаратів з плазмової обробки поверхонь.

У земних умовах плазму можна зустріти хіба що в газорозрядних трубках і плазмових телевизорах, а у Всесвіті практично вся речовина знаходиться в стані плазми. Опанування плазми дозволить людині отримати нові джерела енергії, двигуни для космічних апаратів.

В Україні є декілька наукових центрів, у яких ведуться роботи з дослідження плазми (рис. В-2). Передусім це Інститут фізики плазми (м. Харків) та Інститут фізики (м. Київ).

Плазма викликає інтерес у вчених здебільшого тому, що саме з нею пов'язано майбутнє енергетики Землі — термоядерний синтез. Саме термоядерний синтез є джерелом енергії зір. Щоб на Землі запалити зорю, потрібно нагрівати до десятків мільйонів градусів водневу плазму. Зробити це можна лише в спеці-

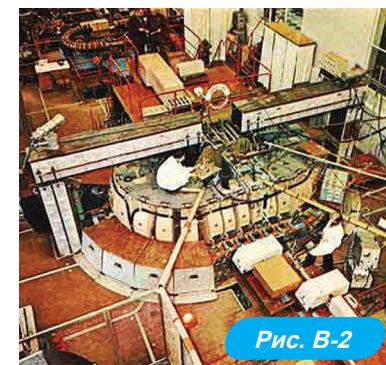


Рис. В-2

альних установках за допомогою магнітних і електричних полів. В Інституті фізики плазми працює установка «Ураган», у якій удалося створити рукотворне Сонце. І хоча від цієї установки ще далеко до створення промислового термоядерного реактора, результати, отримані на установці «Ураган», поза сумнівом, будуть покладені в основу конструкції майбутніх термоядерних реакторів.

ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА І ФІЗИКА НАПІВПРОВІДНИКІВ

Сучасну фізику недаремно називають фізикою твердого тіла. Успіхи математичної і експериментальної фізики кінця 19-го і початку 20-го століть створили умови для бурхливого розвитку всіх напрямів фізики твердого тіла: фізики кристалів, теорії металів, фізики напівпровідників.

В Україні дослідження в галузі фізики твердого тіла і фізики напівпровідників почали проводитися в другій половині 20-го століття. У Києві було засновано Інститут фізики напівпровідників, який сьогодні є провідним науковим центром. В Інституті проводяться дослідження напівпровідникових структур, створюються нові матеріали та прилади мікроелектроніки.

У Харківському університеті на кафедрі теоретичної фізики і в теоретичному відділенні Харківського фізико-технічного інституту Ілля Ліфшиц розробив електронну теорію металів — теоретичні основи сучасної електроніки. Крім того, І. М. Ліфшиц є одним із творців сучасної динамічної теорії твердого тіла і фізики квантових кристалів.

ПЕРШІ КОМП'ЮТЕРИ

У Києві в одній з лабораторій Інституту електротехніки наприкінці 40-х років було створено першу в СРСР і континентальній Європі електронно-обчислювальну машину, прообраз сучасних комп'ютерів (рис. В-3). Потрібно було вирішувати досить багато завдань, які вимагали швидких і складних обчислень.



Рис. В-3

У першу чергу це управління польотами балістичних і космічних ракет. Надалі лабораторію було перетворено на Інститут кібернетики, який створив ряд комп'ютерних систем. Найбільше досягнення Інституту — створення сучасних суперкомп'ютерів для

вирішення задач ядерної фізики, управління складними системами, проведення космічних досліджень.

ГЕЛІКОПТЕРО- І АВІАБУДУВАННЯ

Україна має право пишатися Ігорем Сікорським і Олегом Антоновим. Ігор Сікорський усевітньо відомий як творець першого серійного гелікоптера, а з Олегом Антоновим пов'язане створення в Україні сучасної авіаційної промисловості, повного циклу виробництва літаків, яким можуть похвалитися не більш як десять країн світу. У Сполучених Штатах Америки, куди Сікорський емігрував у 1919 році, він створив свої найкращі гелікоптери. І сьогодні у всьому світові знають гелікоптери Сікорського. Їх використовують як у цивільних, так і у військових цілях не лише у Сполучених Штатах Америки, але й у багатьох країнах світу.

Олег Антонов набув світової популярності, обіймаючи посаду директора Київського конструкторського бюро літакобудування. Він створив такі усевітньо відомі літаки, як Ан-2, Ан-10, Ан-12, Ан-22 «Антей», Ан-24. Останнє створіння нашого знаменитого земляка — найбільший транспортний літак Ан-124 «Руслан» (рис. В-4), що випускають серійно.

У 1984 році ім'ям Олега Антонова було названо Київський авіаційний науково-технічний комплекс (АНТК) зі створення та виробництва літаків — АНТК ім. Антонова. Найкращим пам'ятником великому конструктору стало створення надважкого транспортного літака Ан-225 «Мрія», призначеного для перевезення радянського кос-



Рис. В-4

мічного корабля «Буран». АНТК ім. Антонова розробив і випустив понад 100 типів літаків цивільного і військового призначення. І сьогодні Авіаційний науково-технічний комплекс ім. Антонова належить до найвідоміших авіабудівних фірм світу.

КОРАБЛЕБУДУВАННЯ

Наприкінці 18-го століття в Україні було побудовано великі кораблебудівні заводи, поблизу яких виникли міста Миколаїв і Херсон. Спочатку на цих заводах будували дерев'яні парусні військові кораблі та цивільні судна. З розвитком техніки заводи розширювалися: дерев'яні парусні судна замінилися на пароплави, які мали сталеві корпуси.

У 19–20-му століттях кораблебудування України бурхливо розвивалося — наша країна перетворилася на одну з найбільших кораблебудівних держав Європи. Під кінець 20-го століття на 11 машинобудівних і приладобудівних заводах Миколаєва, Херсона, Керчі, Севастополя, Києва, Одеси було зосереджено близько 10 % усього обсягу світового кораблебудування. Гордістю українського суднобудування були і за-

лишаються ракетні й авіаносні крейсери, великі протичовнові кораблі та транспортні судна, криголами. Серед кораблебудівних заводів України — найбільший у Європі Чорноморський суднобудівельний завод неподалік від Миколаєва (рис. В-5). Ми впевнені, що вам, сьогоднішнім старшокласникам, удасться вписати нові сторінки в славний літопис українських кораблебудівників.

РАКЕТОБУДУВАННЯ

Уперше бойові ракети в Європі застосували в 1515 році запоріжці під командуванням гетьмана Богдана Ружинського: вони атакували начиненими порохом ракетами татарську кінноту кримського хана Мелік-Гірея, унаслідок чого він зазнав нищівної поразки, хоча мав кількісну перевагу над запоріжцями. Але незабаром козаки втратили секрет «ракетної зброї», бо всі ракетники, що брали участь у військовій кампанії, загинули в подальших битвах.

«Якби у нас ракетна зброя була раніше, то хтозна, чи посмів би Бонапарт ступити на нашу землю. А якби й почав свою варварську навалу, то, можливо, його б швидше зупинили. І тоді сиділи б разом з нами багато хоробрих, котрі загинули в боях». Ці слова належать нашому землякові та знаменитому військовому винахідникові Олександрю Засядько. Він вів свій родовід від тих самих запоріжців-ракетників.

Народився Олександр Засядько в 1779 році в селищі Лютеньці Гадяцького району Полтавської області. Здобувши військову освіту, він брав участь у війнах з турками і французами. Вийшовши у відставку, Олександр Засядько починає винаходити бойові порохові ракети. Він сконструював пускові станки, які давали змогу вести залповий вогонь шістьма ракетами. Це був прообраз знаменитої «катуші», одним із винахідників якої був теж наш земляк, полтавчанин Юрій Победоносцев.

Ракетна зброя Олександра Засядько відіграла вирішальну роль під час облоги потужної турецької фортеці Браїлов (у Вінницькій області) весною 1828 року. Перед вирішальним штурмом по фортеці було зроблено залп бойовими фугасними ракетами. Вони зі страшним свистом летіли до фортеці й там вибухали. Стало видно як удень. Після короткої





Умова, винахідника методу просвітлення оптики, тернопільця Олександра Смакулу, дослідника рентгенівського випромінювання, а також тернопільця Івана Пулюя. Згадаймо також про перший суцільнозварний міст через Дніпро в Києві і його розробника Євгена Патона, про кращий танк Другої світової війни Т-34 і його творців, конструкторів та інженерів Харківського паровозобудівного заводу Михайла Кошкина та Олександра Морозова.

перерви ракетний залп повторили, але вже запальними снарядами. Фортеця впала.

Серед тих, хто зміг передбачити освоєння космосу ракетними літальними апаратами і створити перші космічні, є імена винахідників і вчених, які теж тісно пов'язані з Україною: Микола Кибальчич, Юрій Кондратюк, Сергій Корольов, Михайло Янгель, Валентин Глушко.

Сьогодні славу Олександра Засядько поширюють і визначають світовий рівень у ракетно-космічній науці й техніці Дніпропетровський ракетно-космічний комплекс, до складу якого входить КБ «Південне» і завод «Південмаш». Тут конструюють і виробляють ракети, які виводять на навколоземну орбіту супутники зв'язку і дослідні лабораторії, тому Україна є космічною державою. З єдиного у світі морського космодрому «Sea Launch» стартують лише українські ракети «Зеніт» (рис. В-6). У своєму класі це найнадійніші та досконаліші космічні ракети у світі.

Наша розповідь про науку й техніку в Україні, звичайно ж, є неповною. Можна було б згадати одного з творців теорії броунівського руху, львів'янина Мар'яна Смолуховського, дослідника електричних і магнітних явищ, одесита Миколу

1 КІНЕМАТИКА

§1. Механічний рух

§ 2. Прямолінійний рівномірний рух

§ 3. Прямолінійний рівноприскорений рух

§ 4. Шлях за умови прямолінійного рівноприскореного руху

§ 5. Рівномірний рух по колу

§ 1. МЕХАНІЧНИЙ РУХ

1. Основне завдання механіки
2. Фізичне тіло та матеріальна точка
3. Система відліку. Відносність руху
4. Траєкторія, шлях і переміщення
5. Додавання векторних величин

1. ОСНОВНЕ ЗАВДАННЯ МЕХАНІКИ

Почнемо з вивчення *механіки* — одного з основних розділів фізики.

Механіка вивчає механічний рух та взаємодію тіл.

Механічним рухом називають зміну з часом положення тіла відносно інших тіл.

Часто для стислості ми називатимемо механічний рух просто «рухом».

Приклади механічного руху: рух зір і планет, потягів, літаків, автомобілів та космічних кораблів.

Основне завдання механіки полягає в тому, щоб визначити положення тіла в будь-який момент часу.

Для розв'язання основного завдання механіки треба знати *початкове положення тіла* та його *швидкість у поточний момент часу*. Крім того, якщо швидкість тіла змінюється з часом, треба знати, як саме вона змінюється.

Як ми побачимо далі, швидкість тіла змінюється внаслідок дії на це тіло інших тіл. Закони, що визначають, як змінюються швидкості тіл, і є основними законами механіки. Але щоб сформулювати закони механіки й навчитися їх застосовувати, треба спочатку навчитися описувати положення тіла та його рух.

Опис руху тіл становить зміст першого розділу механіки, який називають *кінематикою*.

2. ФІЗИЧНЕ ТІЛО ТА МАТЕРІАЛЬНА ТОЧКА

Як ви вже знаєте, у фізиці тілом (точніше, фізичним тілом) називають будь-який предмет: це може бути, наприклад, планета, автомобіль чи навіть піщинка.

У багатьох задачах для опису руху тіла достатньо задати рух тільки *однієї* його точки. У такому разі тіло подумки замінюють однією точкою.

Тіло, розмірами якого в даній задачі можна знехтувати, називають *матеріальною точкою*.

Матеріальна точка є найпростішою моделлю тіла, використання якої значно спрощує опис його руху.

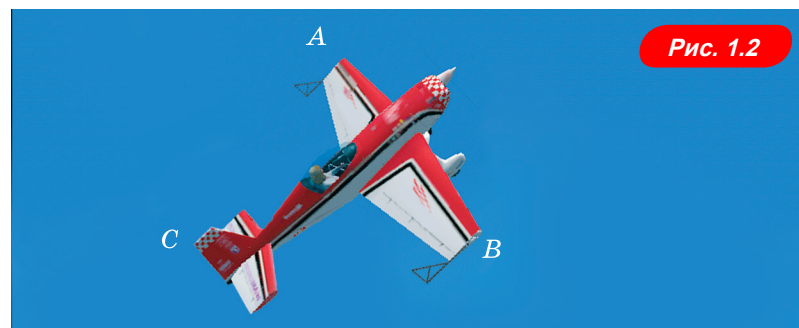
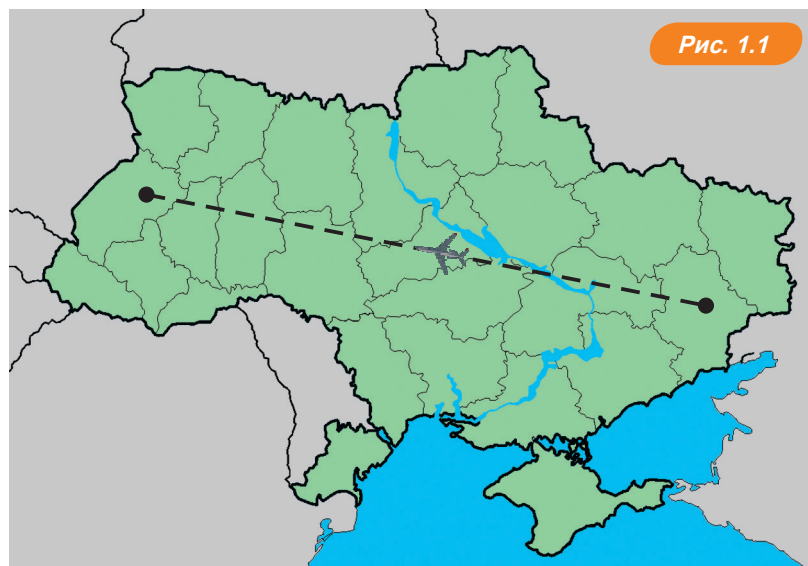
Далі ми розглядатимемо в основному задачі, у яких тіло можна вважати матеріальною точкою.

КОЛИ ТІЛО МОЖНА ВВАЖАТИ МАТЕРІАЛЬНОЮ ТОЧКОЮ?

Чи можна вважати тіло матеріальною точкою, залежить не від розмірів тіла («велике» воно чи «маленьке»), а від поставленої задачі. Тому те саме тіло в одних задачах може розглядатися як матеріальна точка, а в інших — ні.

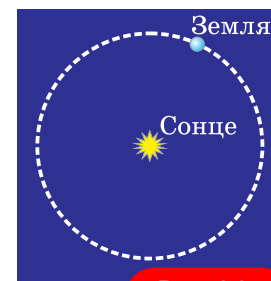
Так, тіло можна вважати матеріальною точкою, якщо *розміри тіла малі порівняно з відстанню, пройденою тілом*, оскільки в цьому випадку розбіжність у русі різних точок тіла є несуттєвою. Розглянемо приклади.

Рух літака. Якщо треба знайти час перельоту літака між двома містами, літак можна вважати матеріальною точкою, оскільки розміри літака набагато менші, ніж відстань між містами (рис. 1.1).



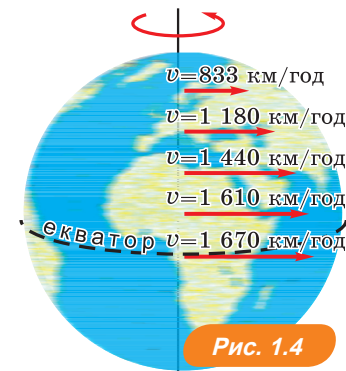
Якщо ж потрібно описати рух літака під час виконання фігур вищого пілотажу, то літак не можна вважати матеріальною точкою, адже слід враховувати, що при цьому різні точки літака рухаються по-різному: літак може похитувати крилами, піднімати й опускати ніс. Для опису руху літака треба при цьому задавати положення *декількох* точок літака (наприклад, A, B, C на рис. 1.2), тобто в цьому випадку літак не можна вважати матеріальною точкою.

Рух Землі. Розглядаючи рух Землі навколо Сонця, Землю можна вважати матеріальною точкою, адже розміри Землі набагато менші, ніж відстань від Землі до Сонця (рис. 1.3). Розглядаючи силу, що діє на Землю з боку Сонця, Землю також часто можна вважати матеріальною точкою.



Якщо ж нас цікавить положення різних точок Землі в різні моменти під час її добового обертання, Землю не можна розглядати як матеріальну точку (рис. 1.4).

Тіло можна вважати матеріальною точкою також за умови *поступального руху* тіла, тобто під час такого руху, коли всі точки тіла рухаються однаково (при цьому будь-який відрізок, що з'єднує дві точки тіла, залишається паралельним самому собі), оскільки під час поступального руху для опису



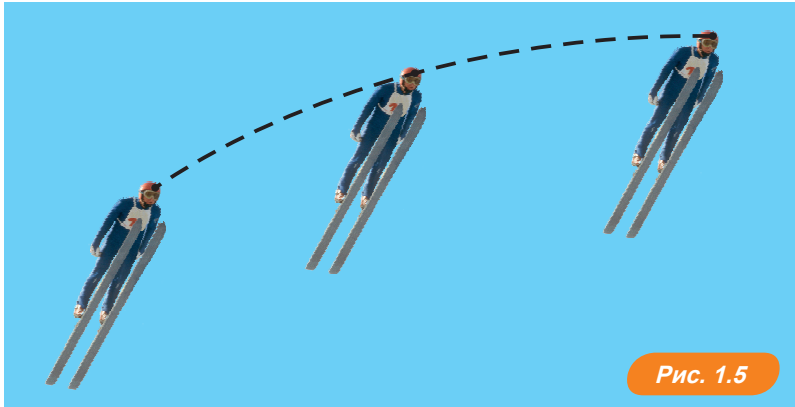


Рис. 1.5

руху тіла достатньо задати рух тільки однієї точки тіла. Розглянемо приклад.

Політ лижника з трампліна. Під час стрибка з трампліна лижник у польоті рухається практично поступально. Тому для опису руху лижника достатньо задати рух тільки однієї його точки (рис. 1.5). Отже, описуючи рух лижника, людину можна вважати матеріальною точкою.

3. СИСТЕМА ВІДЛІКУ. ВІДНОСНІСТЬ РУХУ

Коли описують рух тіла, то завжди — явно чи неявно — мають на увазі рух цього тіла *відносно якогось іншого тіла*.

Тіло, відносно якого розглядають рух усіх тіл у даній задачі, називають *тілом відліку*.

Часто за тіло відліку приймають Землю. Наприклад, коли говорять: «Автомобіль їде зі швидкістю 100 км/год», мають на увазі швидкість автомобіля відносно Землі. Але якщо говорять, що пасажир їде по вагону зі швидкістю 4 км/год, мають на увазі швидкість пасажирів відносно вагона, тобто тілом відліку є вагон.

Іноді без прямої вказівки на тіло відліку обійтися просто не можна: наприклад, фраза «ракета летить зі швидкістю 10 км/с» буде незрозумілою, якщо не зазначити, відносно якого тіла розглядається рух ракети — Землі, Сонця чи іншої ракети.

Положення тіла в даній момент часу задають за допомогою *системи координат*, пов'язаної з тілом відліку. А оскільки рух тіла характеризується зміною положення тіла з часом, для опису руху потрібен також *годинник*.

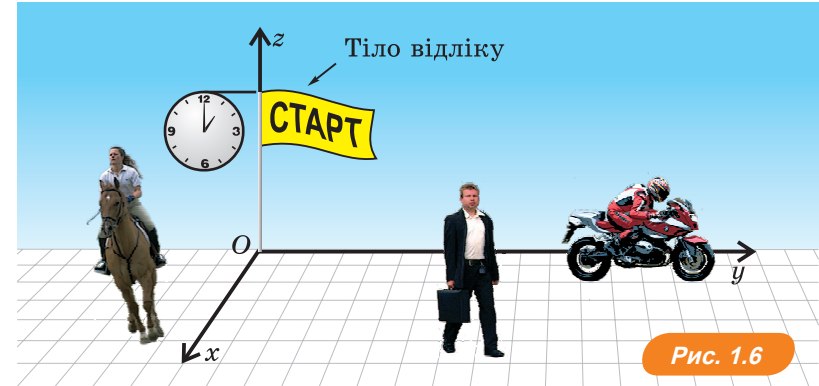


Рис. 1.6

Тіло відліку та пов'язані з ним система координат і годинник утворюють *систему відліку* (рис. 1.6).

4. ТРАЕКТОРІЯ, ШЛЯХ І ПЕРЕМІЩЕННЯ

Лінію в просторі, по якій рухається тіло, називають *траєкторією руху тіла*.

Траєкторія є уявною лінією, але якщо тіло залишає слід під час руху, то ця лінія стає видимою. Наочний приклад — слід, який залишає літак (рис. 1.7) або катер (рис. 1.8). Цей слід показує траєкторію літака в системі відліку, пов'язаній із Землею. У першому випадку траєкторія тіла *прямолінійна*, у другому — *криволінійна*.

Якщо тіло повернулося в початкову точку, траєкторію називають *замкнутою*.

Наприклад, якщо ви вранці вишли з дому, а ввечері повернулися додому, траєкторія вашого руху за день є замкнутою.

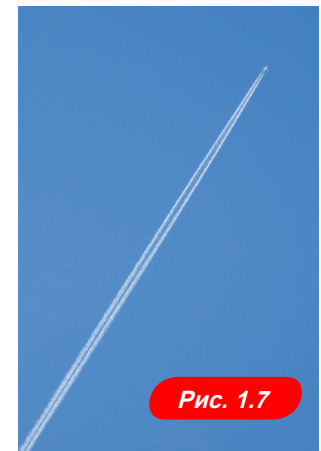
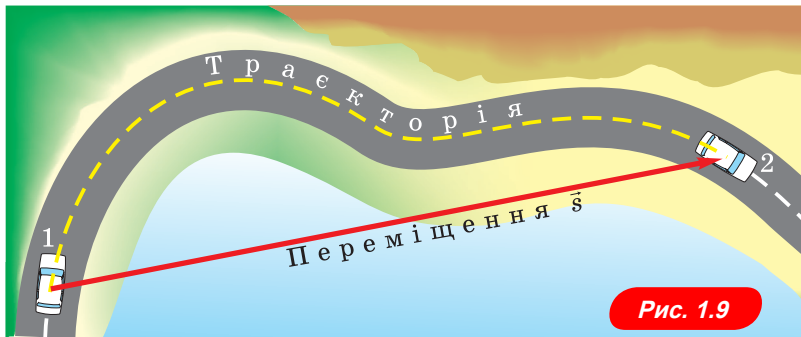


Рис. 1.7



Рис. 1.8



Довжину траєкторії називають *шляхом*, пройденим тілом.

Шлях є скалярною величиною, зазвичай його позначають літерою l .

Зверніть увагу: шляхом вважають суму довжин усіх ділянок траєкторії, у тому числі тих, що накладаються одна на одну. Наприклад, якщо автомобіль зробив три повні кола по кільцевому шосе, то пройдений ним шлях у три рази більший за довжину кола.

Щоб визначити, куди перемістилося тіло в даний момент із початкової точки, задають

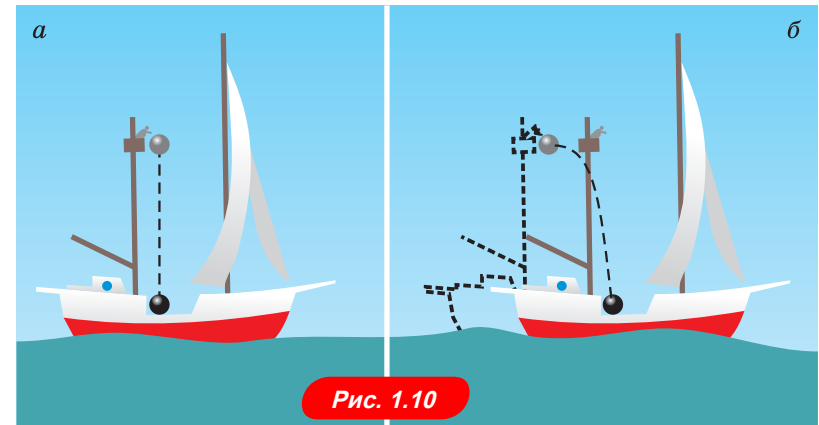
переміщення тіла — напрямлений відрізок, проведений з початкового положення тіла в його положення в даний момент часу (рис. 1.9).

Переміщення є *векторною* величиною, зазвичай його позначають \vec{s} ; модуль переміщення позначають s .

ЧИ ЗАЛЕЖИТЬ ТРАЄКТОРІЯ ВІД ВИБОРУ СИСТЕМИ ВІДЛІКУ?

Так, залежить: наприклад, в одній системі відліку траєкторія руху тіла може бути прямолінійною, а в іншій — криволінійною. Тому від вибору системи відліку залежить і шлях, і переміщення тіла.

Приклад (із книги Галілея). Нехай з вершини щогли корабля, що пливе, на його палубу падає ядро. У системі відліку, пов'язаній із кораблем, траєкторія руху ядра — прямолінійний відрізок (рис. 1.10, а). З точки ж зору спостерігача, який стоїть на березі, ядро мало початкову горизонтальну швидкість, що дорівнювала швидкості корабля. Тому в сис-



темі відліку, пов'язаній із берегом, траєкторія руху одного й того самого ядра криволінійна (рис. 1.10, б). Легко побачити, що пройдений ядром шлях і переміщення ядра у двох розглянутих системах відліку також різні.

ПОСТАВИМО ДОСЛІД

Закріпимо картонний або фанерний диск так, щоб він міг обертатися навколо горизонтальної осі (рис. 1.11).

Розкрутимо диск, піднесемо до нього рейку (не торкаючись диска) і проведемо уздовж рейки грудочку крейди, щоб крейда залишила слід на диску. У системі відліку, пов'язаній із Землею, траєкторія грудочки крейди прямолінійна — крейда рухається вздовж рейки. Однак на диску крейда викреслює спіраль, що показує траєкторію руху тієї ж грудочки крейди в системі відліку, пов'язаній з диском.



5. ДОДАВАННЯ ВЕКТОРНИХ ВЕЛИЧИН

У фізиці використовують багато векторних величин. Такими величинами є, наприклад, переміщення, швидкість,

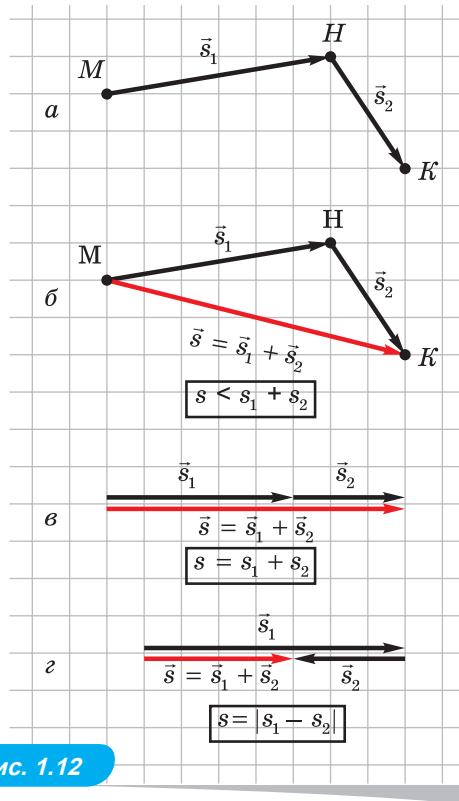


Рис. 1.12

За допомогою «правила трикутника» можна додавати також вектори, напрямлені уздовж однієї прямої (рис. 1.12, в, з). Щоправда, у цьому випадку справжній трикутник не виходить, бо всі вектори лежать на одній прямій. Зверніть увагу: у цьому випадку рівність $s = s_1 + s_2$ має місце тільки тоді, коли вектори-доданки напрямлені однаково (рис. 1.12, в). Якщо ж вектори-доданки напрямлені протилежно, то $s = |s_1 - s_2|$ (рис. 1.12, з).

ПРО ЩО МИ ДІЗНАЛИСЯ

- Механічним рухом називають зміну з часом положення тіла відносно інших тіл.
- Основне завдання механіки полягає в тому, щоб визначити положення тіла в будь-який момент часу. Для розв'язання основного завдання механіки треба знати початкове положення тіла, його швидкість у початковий момент часу й те, як швидкість у початковий момент часу й те, як швидкість змінюється з часом.
- Тіло, розмірами якого в даній задачі можна знехтувати, називають матеріальною точкою. Тіло можна вважати матеріальною точкою, якщо розміри тіла малі порівняно з відстанню, пройденою тілом, а також у разі, коли тіло рухається поступально.
- Тіло, відносно якого розглядають рух усіх тіл у даній задачі, називають тілом відліку.
- Тіло відліку та пов'язані з ним система координат і годинник утворюють систему відліку.
- Лінію в просторі, по якій рухається тіло, називають траєкторією руху тіла.
- Довжину траєкторії називають шляхом, пройденим тілом.
- Переміщення тіла — напрямлений відрізок, проведений з початкового положення тіла в його положення в даний момент часу.
- Форма траєкторії, шлях та переміщення тіла залежать від вибору системи відліку.

? ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

Перший рівень

1. Наведіть приклади задач, коли ваше власне тіло можна вважати матеріальною точкою, а коли — ні.
2. Наведіть приклади задач, у яких спортсмена можна розглядати як матеріальну точку і в яких не можна.

сила. Розглядаючи багато задач, треба вміти виконувати різні дії з векторними величинами. Розглянемо тут додавання векторних величин на прикладі додавання переміщень.

Нехай літак перелетів з міста M до міста H , а звідти — до міста K . На рисунку 1.12, а вектором \vec{s}_1 позначено переміщення літака з M у H , а вектором \vec{s}_2 — переміщення літака з H у K . Результатом двох переміщень є переміщення \vec{s} — це вектор, що з'єднує M і K .

Ми виконали зараз *додавання векторів* за «правилом трикутника».

Щоб за цим правилом знайти суму двох векторів, треба початок другого вектора з'єднати з кінцем першого вектора (рис. 1.12, а). Тоді сумою цих двох векторів є вектор, початок якого збігається з початком першого вектора, а кінець — з кінцем другого вектора (рис. 1.12, б).

3. Навіщо потрібна система відліку? З чого вона складається?
4. Що приймають за тіло відліку, коли говорять: а) автомобіль їде зі швидкістю 100 км/год; б) Земля рухається по своїй орбіті зі швидкістю 30 км/с?
5. Чи може траєкторія руху перетинати себе? Наведіть приклади, що підтверджують вашу відповідь.
6. Чим відрізняється шлях від переміщення? Чи може шлях під час руху тіла зменшуватися?

Другий рівень

7. Як рухається тіло, якщо модуль переміщення дорівнює шляху, пройденому тілом?
8. Яка траєкторія руху тіла, якщо його переміщення дорівнює нулю, а шлях нулю не дорівнює?
9. Хлопчик їде на велосипеді по прямолінійній ділянці горизонтального шляху. Намалюйте в зошиті траєкторію руху сідла велосипеда відносно шляху; педалей велосипеда.

§ 2. ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РІВНОМІРНИЙ РУХ

1. Швидкість прямолінійного рівномірного руху
2. Графік залежності шляху від часу за умови прямолінійного рівномірного руху
3. Графік залежності модуля швидкості від часу
4. Середня швидкість

1. ШВИДКІСТЬ ПРЯМОЛІНІЙНОГО РІВНОМІРНОГО РУХУ

Прямолінійним рівномірним рухом називають такий рух тіла, під час якого воно за будь-які рівні відрізки часу робить рівні переміщення.

Наприклад, таким є рух автомобіля по прямому шосе, коли стрілка спідометра (приладу, що показує швидкість автомобіля) «застигає» в одному й тому самому положенні.

Прямолінійний рівномірний рух — найпростіший для вивчення. Природа теж любить простоту: як ми невдовзі побачимо, тіло рухається прямолінійно і рівномірно, якщо на нього не діють інші тіла.

Швидкістю \vec{v} прямолінійного рівномірного руху називають фізичну величину, що дорівнює відношенню переміщення \vec{s} до відрізка часу t , за який відбулося це переміщення:

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

Як видно з означення, *швидкість* — величина векторна. Напрямок швидкості \vec{v} збігається з напрямком переміщення \vec{s} , а модуль швидкості

$$v = \frac{s}{t},$$

де s — модуль переміщення.

За умови прямолінійного рівномірного руху модуль переміщення s збігається зі шляхом l , тому в цьому випадку можна записати, що $v = \frac{l}{t}$.

Одиниця швидкості в SI — 1 м/с. Це швидкість неспішної прогулянки. Ідучи з такою швидкістю, людина проходить за одну годину 3 600 м, тобто її швидкість дорівнює 3,6 км/год. Швидкість автомобілів і потягів задають зазвичай у кілометрах за годину.

Швидкість ракет та штучних супутників Землі задають у кілометрах за секунду (км/с). Як ми побачимо в § 10. Закон всесвітнього тяжіння, швидкість руху штучного супутника Землі навколоземною орбітою становить близько 8 (км/с).

2. ГРАФІК ЗАЛЕЖНОСТІ ШЛЯХУ ВІД ЧАСУ ЗА УМОВИ ПРЯМОЛІНІЙНОГО РІВНОМІРНОГО РУХУ

Графік набагато наочніше, ніж формула, показує залежність однієї величини від іншої.

Побудуємо графік залежності шляху від часу для прямолінійного рівномірного руху.

З формули $v = \frac{l}{t}$ випливає, що $l = vt$. Це формула *прямої пропорційності*, добре знайома вам з курсу математики. Графіком прямої пропорційності є *відрізок прямої*, що проходить через початок координат. Отже,

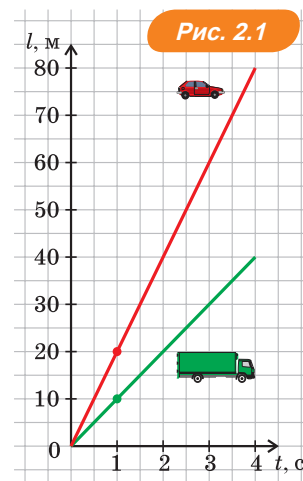
графік залежності шляху від часу за умови прямолінійного рівномірного руху — відрізок прямої, один кінець якого збігається з початком координат.

Для побудови такого графіка досить знайти одну його точку, що не збігається з початком координат, і провести відрізок прямої через початок координат та цю точку. Розглянемо приклад.

? РОЗВ'ЯЖІМО ЗАДАЧУ

Побудуємо графіки залежності шляху від часу для вантажівки та легкового автомобіля, що рухаються прямолінійно й рівномірно, якщо швидкість вантажівки $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а швидкість легкового автомобіля $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Розв'язання. Побудуємо для кожного графіка точку, що відповідає моменту часу $t = 1$ с (зелена — для вантажівки і червона — для легкового автомобіля на рис. 2.1). Проведемо відрізки прямих через початок координат і ці точки. Ці відрізки і є шуканими графіками.



Зверніть увагу:

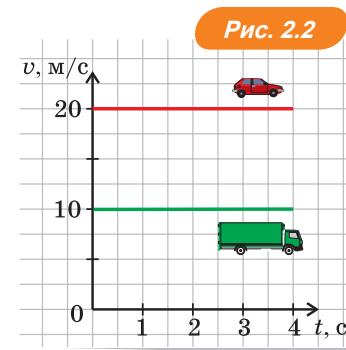
чим більша швидкість тіла, тим більший кут між графіком залежності шляху від часу та віссю часу.

3. ГРАФІК ЗАЛЕЖНОСТІ МОДУЛЯ ШВИДКОСТІ ВІД ЧАСУ

За умови прямолінійного рівномірного руху модуль швидкості тіла залишається постійним. Тому

за умови прямолінійного рівномірного руху графіком залежності модуля швидкості від часу є *відрізок прямої, паралельної осі часу*.

На рисунку 2.2 зображено для прикладу графіки залежності модуля швидкості від часу для розглянутих вище вантажівки та легкового автомобіля.



ЯК ВИЗНАЧИТИ ПРОЙДЕНИЙ ШЛЯХ ЗА ГРАФІКОМ ШВИДКОСТІ?

Графік залежності модуля швидкості від часу для прямолінійного рівномірного руху може здатися не надто цікавим. Однак він має чудову властивість, що допоможе нам надалі. От ця властивість:

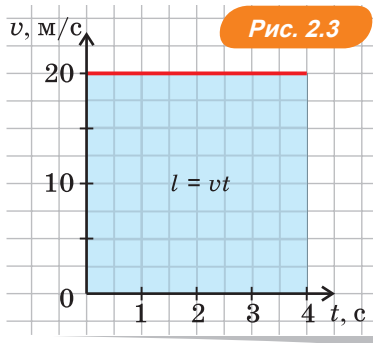


Рис. 2.3

площа фігури під графіком модуля швидкості чисельно дорівнює шляху, пройденому тілом.

Для доведення розглянемо фігуру, розташовану під графіком модуля швидкості (її виділено кольором на рис. 2.3).

Ця фігура — прямокутник. Його площа дорівнює добутку висоти v на основу t , тобто vt .

А це саме і є виразом для шляху, пройденого тілом за умови прямолінійного рівномірного руху, адже $l = vt$.

4. СЕРЕДНЯ ШВИДКІСТЬ

Прямолінійний рівномірний рух відбувається досить рідко. Значно частіше ми спостерігаємо приклади нерівномірного руху.

Нерівномірним рухом називають такий рух, під час якого тіло проходить за рівні відрізки часу різні шляхи.

Прикладами нерівномірного руху можуть служити падіння яблука з гілки дерева, розгін і гальмування автомобіля.

Для опису нерівномірного руху часто використовують середню швидкість.

Середньою швидкістю нерівномірного руху \bar{v}_c за даний відрізок часу t називають фізичну величину, що дорівнює відношенню переміщення \bar{s} до відрізка часу, за який це переміщення відбулося:

$$\bar{v}_c = \frac{\bar{s}}{t}.$$

Слова «за даний відрізок часу» вказують на те, що *за умови нерівномірного руху середня швидкість тіла за різні відрізки часу може бути різною.*

Наприклад, коли автомобіль розганяється, то його середня швидкість за першу секунду може дорівнювати 5 м/с, а за другу секунду — вже 10 м/с. А для автобуса, що гальмує, навпаки, середня швидкість за кожну наступну секунду менша, ніж за попередню.

Якщо тіло рухається прямолінійно в одному напрямі, то пройдений тілом шлях $l = s$. У такому разі модуль середньої швидкості $v_c = \frac{l}{t}$.

ПРО ЩО МИ ДІЗНАЛИСЯ

- Прямолінійним рівномірним рухом називають такий рух тіла, під час якого воно за будь-які рівні відрізки часу робить рівні переміщення.
- Швидкістю \bar{v} прямолінійного рівномірного руху називають фізичну величину, що дорівнює відношенню переміщення \bar{s} до відрізка часу t , за який відбулося це переміщення: $\bar{v} = \frac{\bar{s}}{t}$. Швидкість — величина векторна.
- За умови прямолінійного рівномірного руху $v = \frac{l}{t}$.
- Графіком залежності шляху від часу за умови прямолінійного рівномірного руху є відрізок прямої, один кінець якого збігається з початком координат. Чим більша швидкість тіла, тим більший кут між графіком залежності шляху від часу та віссю часу.
- За умови прямолінійного рівномірного руху графік залежності модуля швидкості від часу — відрізок прямої, паралельної осі часу.
- Площа фігури під графіком модуля швидкості чисельно дорівнює шляху, пройденому тілом.
- Нерівномірним рухом називають такий рух, під час якого тіло проходить за рівні відрізки часу різні шляхи.
- Середньою швидкістю нерівномірного руху \bar{v}_c за даний відрізок часу t називають фізичну величину, що дорівнює відношенню переміщення \bar{s} до відрізка часу, за який це переміщення відбулося: $\bar{v}_c = \frac{\bar{s}}{t}$.
- Якщо тіло рухається прямолінійно в одному напрямі, то модуль середньої швидкості $v_c = \frac{l}{t}$, де l — шлях, пройдений тілом.

? ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ¹

Перший рівень

1. Наведіть приклади прямолінійного рівномірного руху.
2. Автомобіль рухається рівномірно по прямому шосе. З якою швидкістю їде автомобіль, якщо кожної хвилини він проїжджає повз кілометровий стовп?

¹ У завданнях до цього параграфа вважайте, що тіло рухається в одному напрямі.

3. Хороший спортсмен пробігає стометрівку за 10 с. Яка його швидкість у метрах за секунду та в кілометрах за годину?
4. Автомобіль їде зі швидкістю 20 м/с. Яка його швидкість у кілометрах за годину?
5. Побудуйте на одному рисунку графіки залежності шляху від часу для двох автомобілів — синього і червоного. Синій рухається зі швидкістю 60 км/год, а червоний — зі швидкістю 100 км/год. Для якого автомобіля кут між графіком та віссю часу більший?
6. Що таке нерівномірний рух? Наведіть декілька прикладів такого руху.
7. Що таке середня швидкість? Як пов'язаний модуль середньої швидкості зі шляхом під час прямолінійного руху в одному напрямі?
8. Автомобіль за 1 год проїхав 60 км, потім 1 год стояв, а потім ще за 1 год проїхав 90 км. Автомобіль весь час рухався прямолінійним відрізком шосе в одному напрямі. Яка середня швидкість автомобіля?

Другий рівень

9. Чому швидкість є векторною величиною? Як напрямлена швидкість?
10. Які ви знаєте формули для модуля швидкості?
11. Перший учень, розв'язуючи задачу, визначив швидкість автомобіля в метрах за секунду, а другий — у кілометрах за годину. Хто з них отримав більше число? У скільки разів більше?
12. Який вигляд має графік залежності шляху від часу за умови прямолінійного рівномірного руху? Намалюйте такі графіки для двох автомобілів, якщо швидкість першого автомобіля удвічі більша за швидкість другого.
13. Який вигляд має графік залежності модуля швидкості від часу за умови прямолінійного рівномірного руху? Як можна знайти пройдений шлях за допомогою графіка швидкості?
14. Пасажир проїхав половину часу на автомобілі зі швидкістю 100 км/год, а половину часу — потягом зі швидкістю 60 км/год. Чому дорівнює його середня швидкість за весь час руху? Автомобіль та поїзд весь час рухалися по прямій в одному напрямі.
15. Пасажир проїхав першу половину шляху на автомобілі зі швидкістю 100 км/год, а другу половину шляху — потягом зі швидкістю 60 км/год. Чому дорівнює його середня швидкість за весь час руху? Автомобіль весь час рухався прямолінійним відрізком шосе в одному напрямі. Чому відповідь цієї задачі відрізняється від відповіді попередньої?
16. Складіть задачу за темою «Прямолінійний рівномірний рух», відповіддю якої було б «Не наздожене».

§ 3. ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РІВНОПРИСКОРЕНИЙ РУХ

1. Миттєва швидкість
2. Прямолінійний рівноприскорений рух
3. Прискорення
4. Коли швидкість тіла збільшується, а коли — зменшується?
5. Графік залежності модуля швидкості від часу

1. МИТТЄВА ШВИДКІСТЬ

Миттєва швидкість тіла — це його середня швидкість за такий малий відрізок часу, який включає цей момент, що протягом цього відрізка рух тіла можна вважати рівномірним.

Наочне уявлення про миттєву швидкість автомобіля дають, наприклад, покази *спідометра* (рис. 3.1).

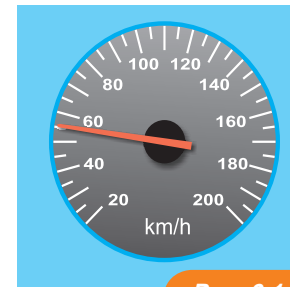


Рис. 3.1

Спостерігаючи за спідометром під час їзди, можна помітити, що швидкість автомобіля *змінюється з часом*. Особливо це помітно під час розгону (наприклад, у момент рушання з місця) та гальмування (наприклад, перед перехрестям).

Поняття миттєвої швидкості добре ілюструє такий приклад зі знаменитих «Фейнманівських лекцій з фізики» (рис. 3.2).

Поліцейський зупиняє машину, і між ним та жінкою за кермом відбувається така розмова.

— Мадам, ви порушили правила дорожнього руху: ви їхали зі швидкістю 90 кілометрів за годину.

— Я всього 7 хвилин тому виїхала з дому, як же я могла проїхати 90 кілометрів за годину?

— Але якби ви продовжували так їхати, то ви проїхали б за годину 90 кілометрів.

— А я й не збиралася так їхати аж годину! Я збиралася проїхати ще один квартал і зупинитися.