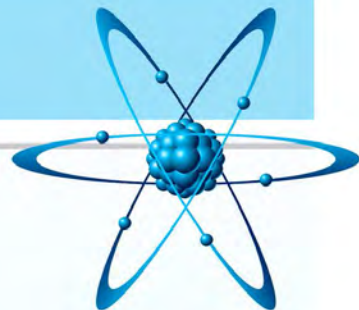


Головко М. В., Мельник Ю.С,
Непорожня Л.В., Сіпій В.В.



ФІЗИКА

*«Фізика (рівень стандарту, за навчальною програмою
авторського колективу під керівництвом Ляшенка О.І.)»
підручник для 10 класу
закладів загальної середньої освіти*



«Фізика (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Ляшенка О.І.)» підручник для 10 класу закладів загальної середньої освіти (автори: Головка М. В., Мельник Ю.С, Непорожня Л.В., Сіпій В.В.)

ЗМІСТ

Слово до учнів

Слово до вчителя.....

Вступ

§1. Світоглядний потенціал фізики та астрономії

§2. Фізичні теорії. Фізика як теоретична основа сучасної астрономії

Розділ 1. Механіка

§3. Механічний рух. Основна задача механіки

§4. Основні характеристики механічного руху

§5. Рівномірний прямолінійний рух

§6. Рівнозмінний рух.....

§7. Рівноприскорений прямолінійний рух

§8. Рівномірний рух по колу

Практикум із розв'язування задач

Виявляємо предметну компетентність

§9. Перший закон Ньютона

§10. Другий закон Ньютона

§11. Третій закон Ньютона.....

Практикум із розв'язування задач

Виконуємо навчальний проект разом

Виявляємо предметну компетентність

§12. Закон всесвітнього тяжіння

§13. Гравітаційне поле та вага тіла.....

Практикум із розв'язування задач

§14. Деформації і сила пружності

§15. Сила тертя.....

Практикум із розв'язування задач.....

Виявляємо предметну компетентність

§16. Рівновага тіл.....

§17. Елементи механіки рідин і газів

Практикум із розв'язування задач

Виявляємо предметну компетентність

§18. Закон збереження імпульсу

§19. Механічна робота. Потужність

§20. Механічна енергія.

Закон збереження механічної енергії

- §21. Закон збереження механічної енергії.
Застосування законів збереження в механіці.
Практикум із розв'язування задач
Виявляємо предметну компетентність
- §22. Межі застосування законів класичної механіки.
Основи спеціальної теорії відносності
- §23. Відносність часу та лінійних розмірів тіл.
Релятивістський закон додавання швидкостей

Розділ 2. Молекулярна фізика та термодинаміка

- §24. Сучасні дослідження будови речовини
- §25. Основи молекулярно-кінетичної теорії будови речовини ..
- §26. Ідеальний газ. Тиск газу. Температура
- §27. Основне рівняння молекулярно-кінетичної
теорії ідеального газу
- §28. Рівняння стану ідеального газу. Ізопроекти
- Практикум із розв'язування задач*
- Виконуємо навчальний проект разом*
- Виявляємо предметну компетентність*
- §29. Випаровування. Властивості насиченої
та ненасиченої пари
- §30. Вологість повітря та її вимірювання
- §31. Рідини. Поверхневий натяг рідин
- §32. Змочування. Капілярні явища
- §33. Рідкі кристали. Полімери. Наноматеріали
- §34. Будова і властивості твердих тіл
- Це цікаво знати*
- §35. Внутрішня енергія. Способи зміни внутрішньої
енергії тіла
- §36. Теплові процеси та їх характеристики.
Рівняння теплового балансу
- §37. Робота в термодинаміці
- §38. Закони термодинаміки
- §39. Теплові двигуни
- §40. Теплові машини
- §41. Екологічні проблеми, пов'язані
з використанням теплових машин
- Практикум із розв'язування задач*
- Виявляємо предметну компетентність*

Лабораторний практикум

Відповіді до вправ

ВСТУП

Слово до учнів

Шановні друзі! У 10 класі ви розпочинаєте вивчення предмету «Фізика і астрономія», в якому висвітлюються основи фундаментальних наук про природу — фізики та астрономії. Цей курс поглиблює та розширює зміст базового курсу фізики, опанування якого ви завершили в 9 класі, а також подає цілісний астрономічний зміст, з елементами якого ви познайомилися під час вивчення природознавства.

Вивчаючи цей предмет, ви продовжите більш ґрунтовне опанування наукових основ фізики і астрономії, поглиблювати уявлення про особливості протікання природних явищ та процесів, а також методів їх дослідження, використання в побуті, техніці та технологіях.

Важливо, щоб у старших класах ви не просто поглибили свої знання з фізики та астрономії, а й навчилися використовувати їх для вирішення різноманітних навчальних та життєвих практичних завдань: розв'язувати фізичні задачі, планувати та реалізовувати експеримент, аналізувати його результати, оцінювати ефективність побутових приладів та запроваджувати енергоощадні технології. Все це сприятиме і успішній підготовці до складання незалежного зовнішнього оцінювання з фізики, свідомому вибору напрямку майбутньої навчальної та професійної діяльності, а також вступу до університету.

Сподіваємося, що пропонований підручник допоможе вам у досягненні цих нелегких завдань та сприятиме розвитку фізичного мислення, формуванню сучасної науково-природничої картини світу, усвідомленню того, що кожна людина є невід'ємною частинкою природи і саме від нас залежить її майбутнє.

До підручника включено різноманітні творчі завдання на формування практичних умінь і навичок, практикум із розв'язування фізичних задач та лабораторний практикум. Якщо наполегливо та творчо підійдете до виконання навчальних проєктів, використовуючи знання та вміння з предмету, можливо вам вдасться зробити й власні відкриття, що в майбутньому складуть основу нових сучасних технологій.

ґрунтовне опанування фізики і астрономії передбачає систематичну самостійну роботу з матеріалом, виконання астрономічних і фізичних спостережень та дослідів, розв'язування задач із використанням підручника. Виконуючи рекомендовані в підручнику завдання, намагайтеся пропонувати власні оригінальні способи їх вирішення.

Намагайтеся не тільки уважно прочитати матеріал параграфів, а й проаналізувати та усвідомити прочитане, записати основні моменти, накреслити графіки або схеми. Виконуйте вправи та завдання для самоконтролю, вміщені наприкінці кожного параграфу. Це допоможе закріпити вивчений матеріал. Якщо ви не знаходите в підручнику відповіді на всі свої питання, скористайтеся додатковими джерелами, наприклад пошуковими системами, але пам'ятайте, що користуватися Інтернет потрібно, в першу чергу, з метою вирішення навчально-пізнавальних завдань.

Тож бажаємо вам творчого, цікавого та успішного вивчення фізики і астрономії.

Автори

Слово до вчителя

Підручник є складовою навчально-методичного забезпечення базового предмету «Фізика і астрономія», вивчення якого передбачено Типовими навчальними планами 10-11 класів закладів загальної середньої освіти (наказ міністерства освіти і науки України №1541 від 24.11. 2017 р.).

Зміст підручника відповідає навчальній програмі з фізики і астрономії, затвердженій МОН України (наказ №1539 від 24.11. 2017 р., режим доступу: <http://mon.gov.ua/activity/education/zagalna-serednya/navchalni-programy.html>), згідно якої на вивчення предмету в 10 класі відведено 3 години на тиждень.

Оскільки в старшій школі засвоєння фізичного і астрономічного компонентів освітньої галузі «Природознавство» Державного стандарту базової і повної загальної середньої освіти мають споріднений предмет навчання, методи дослідження та здійснюють спільний внесок у формування наукової картини світу, ці два компоненти об'єднано в єдиний навчальний предмет «Фізика і астрономія» зі збереженням своєрідності кожного з цих складників.

На базовому рівні ці складники можуть реалізовуватися як у вигляді відносно самостійних модулів, так і інтегровано. Основний астрономічний компонент віднесено до 11 класу, а в підручнику 10 класу елементи астрономії включено до «Вступу» та розділу «Механіка».

Оскільки навчання фізики і астрономії здійснюється на компетентнісних засадах, методичний апарат підручника орієнтований на формування ключових і предметної компетентностей учнів. Згідно з авторською концепцією, у підручнику втілено спробу реалізувати компетентнісний та особистісний підхід через побудову методичного апарату, диференційовану систему вправ, різноманітність завдань та вправ для самостійної роботи учнів, домашній фізичний експеримент, навчальні проекти, лабораторний практикум та практикум із розв'язування задач.

З цією метою до підручника включено практико та компетентнісно орієнтовані завдання, вирішення яких передбачає використання набутих учнями знань та умінь із фізики і астрономії в практичних ситуаціях. Виокремлено спеціальну рубрику «Виявляємо предметну компетентність», в якій учням пропонуються завдання на виявлення рівня сформованості предметної компетентності у формі, максимально наближеній до формату зовнішнього незалежного оцінювання.

Сподіваємося, пропонований підручник стане вам у нагоді для успішного вивчення фізики і астрономії.

Автори

ВСТУП

§ 1. Світоглядний потенціал фізики та астрономії

- ▶ *Фізика та астрономія у пізнанні речовини, поля, простору і часу*
- ▶ *Методи наукового пізнання природи*
- ▶ *Основні етапи розвитку фізики та астрономії в Україні та світі*

ФІЗИКА ТА АСТРОНОМІЯ У ПІЗНАННІ РЕЧОВИНИ, ПОЛЯ, ПРОСТОРУ І ЧАСУ. В основній школі фізика вивчалася як окремий предмет, а в старшій школі розпочинається вивчення інтегрованого курсу «Фізика і астрономія», в якому висвітлюються основи фундаментальних наук про природу. До XVIII ст. У стародавні часи існувала тільки одна наука про природу — природознавство, хоча окремі астрономічні знання людство почало здобувати на початку своєї історії. Із часом обсяг наукових знань про навколишній світ неабияк збільшився, і природознавство розділилось на окремі науки: астрономію, географію, біологію, хімію, фізику та інші.

Фізика — наука про найбільш загальні і фундаментальні закономірності, що визначають структуру й еволюцію матеріального світу.

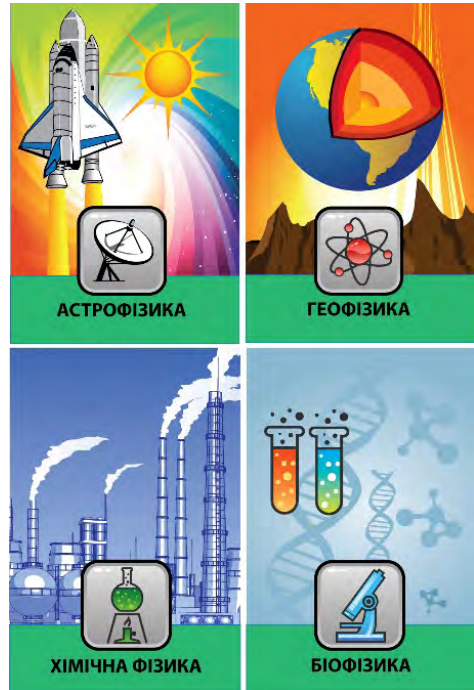
Астрономія — наука про небесні тіла, про закони їхнього руху, будови і розвитку, а також про будову й розвиток Всесвіту в цілому.

У фізиці вивчають фізичні явища і фізичні властивості матерії. Багато фізичних явищ мають спільні властивості і, залежно від цього, їх поділяють на механічні, теплові, світлові, електромагнітні та інші (*мал. 1.1.*).

Саме завдяки загальності та фундаментальності законів фізики вони використовуються в усіх природничих науках. Виникли й успішно розвиваються нові напрями — астрофізика, геофізика, біофізика тощо (*мал. 1.2.*).



Мал. 1.1.
Фізичні явища



Мал. 1.2. Новітні напрями
природничої науки

МЕТОДИ НАУКОВОГО ПІЗНАННЯ. Яким чином, якими способами здобувають наукові знання у фізиці та астрономії? Дослідження явищ починається зі спостереження за ними. Оскільки майже всі об'єкти, які вивчає астрономія, лежать за межами земної атмосфери, то її основним методом є спостереження. Це її особливість у порівнянні з іншими природничими науками. Щоб зрозуміти і описати події, які відбуваються, вчені запроваджують фізичні величини, такі, наприклад, як швидкість, сила, тиск, температура тощо.

Кожній величині надають точне визначення і вказують, як цю величину можна виміряти. От чому кажуть, що *мовою фізики є фізичні величини*. А фізика, як і деякі інші науки, ґрунтується на кількісних спостереженнях та використанні математики.

Найскладніший етап у розвитку наукових спостережень — *виявлення суттєвих ознак* явищ, що спостерігаються. Цей етап вимагає від дослідників здатності до здогадок та узагальнень, до встановлення зв'язку між явищами та їх причинами. Дослід, науковий експеримент — це виклики природі. Шляхом зміни умов досліді, міркувань учені доходять до певних висновків, формулюють припущення про причини, ознаки та наслідки явищ тощо.

Припущення, обґрунтоване науковими фактами, називають гіпотезою¹.

За допомогою емпіричних методів пізнання (спостереження, вимірювання, експерименти, досліди) нагромаджується великий фактичний матеріал про певну групу явищ природи. На основі цього матеріалу створюється *гіпотеза*, яка пояснює хід цих явищ. Справедливість гіпотези перевіряється новими експериментами. Якщо правильність гіпотези підтверджується, то на її основі формулюються *закони* і створюється *теорія*, яка повинна дати задовільні якісні і кількісні пояснення явищ, що відбуваються, а також передбачати нові явища.

Джерелом фізичного знання і критерієм² його істинності є дослід, експеримент.

Істинним є те знання, яке підтверджено дослідом, і цей дослід може бути відтворений (*мал.1.3*)



Мал. 1.3. Експеримент — основне джерело знань про природу

- а) члени Французької Академії А. Ампер та Ф. Араго вивчають дію магнітного поля на провідник зі струмом;
- б) перший космонавт незалежної України Л. Каденюк проводить експеримент з вивчення впливу мікрогравітації на рослини в космосі;
- в) експерименти на адронному колайдері;
- г) експерименти на поверхні Марса виконує автоматична міжпланетна станція «К'юріосіті».

¹ Від грецького hypothesis — припущення, основа.

² Від грецького kriterion — засіб для суджень, мірило оцінки.

Дослід, експеримент, пов'язаний зі спостереженням, але не тотожний йому: в науковому експерименті дослідники цілеспрямовано впливають на досліджуваний процес, аби виявити зв'язок причин і наслідків спостережуваного процесу. Експеримент є основою фізики.

Експериментом у фізиці називають спеціально поставлені досліді чи спостереження.

Фізичний експеримент має задовольняти такі вимоги:

1. Відтворюваність експериментальних результатів у разі виконання будь-якої кількості незалежних вимірювань (зокрема й таких, що проводяться на різних установках, різними експериментаторами, у різних місцях і за різних умов).
2. Максимальна точність вимірювання.
3. Повний контроль за всіма чинниками, які визначають перебіг досліджуваного явища.

Поміркуйте і наведіть приклади наукового експерименту і наукового спостереження.

У сучасній фізиці крім експериментального важливе значення має теоретичний метод пізнання. Вивчення фізичних явищ на мікро- та нано- рівнях спершу моделюється, досліджується методами математики, і лише потім перевіряється експериментом.

ОСНОВНІ ЕТАПИ РОЗВИТКУ ФІЗИКИ ТА АСТРОНОМІЇ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ.

Фізика і астрономія — одні з найдавніших наук про природу. Найперші астрономічні знання — це не та астрономія, як ми її розуміємо нині. Ці знання були лише засобом для задоволення потреб господарського життя. Сума накопичених результатів астрономічних спостережень не є наукою, а лише її фундаментом. Наука виникла лише тоді, коли людина навчилася оперувати ідеальними образами об'єктів зовнішнього світу, тобто опанувала новий тип мислення і новий тип знання. Такого рівня абстрагування не мали цивілізації стародавнього Сходу та Америки. Його досягли у Стародавній Греції в VI—V ст. до н.е.

У II ст. н. е. Клавдій Птолеме́й створив геоцентричну систему світу — відносно складну математичну модель, яка для свого часу задовільно пояснювала видимі рухи планет і, що було тоді важливо, дозволяла визначати їхнє положення на небесній сфері наперед, у майбутньому. Хоча вона не відображала справжньої будови Сонячної системи її використовували упродовж майже 1500 років.

Вважають, що сучасна фізика почала свій розвиток з праць Галілея, який став основоположником експериментально-мате-

матичного методу вивчення природи та зробив фізику наукою про універсальні закони природи. Він сформулював найважливіші принципи механічного світу. Його дослідження кардинально вплинули на розвиток наукової думки. Саме від нього бере початок фізика як наука. Найважливішим внеском Галілео Галілея в науку була свідомо й послідовна заміна пасивного спостереження активним експериментом. Галілей першим використав телескоп для вивчення небесних тіл. Результатами цих спостережень і експериментів стали зроблені ученим наукові відкриття.

Потужним поштовхом до формування фізики як науки стали наукові праці Ісаака Ньютона. На основі сформульованих ним законів було побудовано так звану ньютонівську механіку, на базі якої розвинулася *класична фізика*, а в астрономії виник новий розділ — *небесна механіка*.

Експерименти класичної фізики проводилися виключно з макроскопічними тілами (тобто, з тілами, що складаються з величезної кількості атомів і молекул), які рухалися порівняно повільно (зі швидкістю набагато меншою ніж $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$). Як за часів Ньютона, так і пізніше (аж до кінця XIX ст.) це була стандартна експериментальна ситуація.

У XIX ст. М. Фарадей та Д. Максвелл сформулювали основні закони електромагнетизму, які спричинили подальший розвиток електродинаміки. Наукові відкриття, зроблені цими вченими лягли в основу розроблення електростанцій, засобів теле- і радіозв'язку тощо.

На початку XX ст. А. Ейнштейн переформулював основні рівняння механіки так, щоб їх можна було застосовувати до вивчення рухів зі швидкостями, наближеними до швидкості світла, та заклав основи теорії гравітації (всесвітнього тяжіння). Але найважливішими науковими здобутками цього періоду стали відкриття закономірностей мікросвіту. Наукові дослідження XX ст. спричинили виникнення нових галузей фізики: *квантово-механічної* а потім і *квантово-релятивістської фізики*. Наразі квантово-релятивістська фізика є найбільш загальною та універсальною формою подання сучасного тлумачення навколишнього світу. Але з появою квантової релятивістської фізики класична фізика не зникла. Визначилися лише рамки, у межах яких вона діє.

Отже, на кожному історичному етапі конкретний зміст фізики, як і астрономії, визначався тодішнім рівнем знань про природу. Нині об'єктами дослідження у фізиці є найдрібніші частинки речовини (аж до так званих кварків), віддалені від Землі на тисячі

світлових років таємничі квазари та «чорні діри» а також Світ (Всесвіт) у його цілісному розвитку.

Еволюція поглядів на фізичну картину світу

Фізична картина світу	Час виникнення	Вчені, які внесли найбільший вклад у її розвиток	Основні закони, теорії, принципи
Механістична	XVI — XVIII ст.	Галілей, Декарт, Ньютон, Лаплас	Принцип відносності; закони динаміки; закон Всесвітнього тяжіння; закони збереження
Електро-динамічна	XIX — початок XX ст.	Фарадей, Максвелл,	Закон електромагнітної індукції, рівняння Максвелла
Квантово-механічна	Початок XX	Планк, Ейнштейн, Бор, де Бройль, Шредингер, Гейзенберг	Гіпотеза Планка, ідеї Ейнштейна, постулати Бора, корпускулярно-хвильовий дуалізм
Квантово-релятивістська	середина XX ст.	Гейзенберг, Дірак, Паулі, Боголюбов	Квантова теорія поля

В історії розвитку фізичної та астрономічної науки українські вчені займають вагомe місце поруч із всесвітньо відомими дослідниками природи. Одним із перших українських середньовічних філософів та астрономів був Ю.М. Котермак із Дрогобича, ректор Болонського університету, автор книги «Прогностична оцінка» (1983 р.).

Біля витоків одного із найвизначніших досягнень людства — відкриття «Х» — променів, за яке В. Рентген був удостоєний Нобелівської премії, стояв Іван Пулюй. Український фізик отримав перші високоякісні знімки з їх застосуванням. У другій половині XIX — на початку XX ст. учений був відомий в Європі своїми фундаментальними працями з молекулярної фізики, дослідження

властивостей та природи катодних променів.

Наша держава має значний науковий та технологічний потенціал. Його складають потужні науково-дослідні установи та виробничі об'єднання. Києва, Дніпра, Одеси, Харкова, в яких зароджувалися та функціонують й сьогодні наукові школи фізики та астрономії, всесвітньо відомі своїми результатами. Провідну роль у становленні фізики і астрономії в нашій країні відіграють наукові установи Національної академії наук України (НАН України), яка була заснована у 1918 році як Всеукраїнська академія наук.

Однією з перших вітчизняних науково-дослідних установ, де упродовж століття років здійснюються фундаментальні дослідження в галузі механіки, є Інститут механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України. Це був один із перших науково-дослідних інститутів у складі Всеукраїнської академії наук, директором-засновником якого став всвітньовідомий фахівець із теорії міцності, академік С.П. Тимошенко.

Сучасні дослідження з фізики конденсованого стану, м'яких речовин, нанофізики та наноелектроніки, фізики лазерів, нелінійної та сингулярної оптики, голографії, фізики поверхні, емісійної та плазмової електроніки здійснюються в Інституті фізики НАН України.

В Інституті магнетизму НАН України досліджуються проблеми магнетизму, створюють нові магнітні матеріали (магнітні носії з надвисокою щільністю запису інформації, матеріали з ефектом магнітної пам'яті), розробляються заходи із ліквідації наслідків таких екологічних катастроф світового масштабу, як аварія на Чорнобильській АЕС.

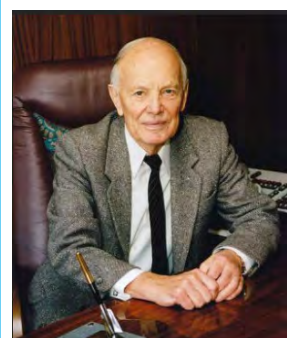
В Інституті ядерних досліджень НАН України здійснюються дослідження з



Юрій Котермак
(Юрій Дрогобич)
(1450 — 1494)



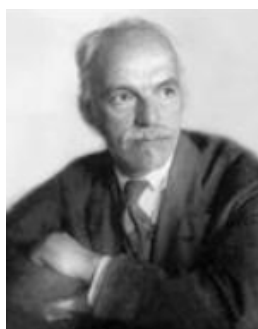
Іван Павлович Пулюй
(1845 — 1917)



Борис Євгенович Патон, президент НАН України, всесвітньо відомий учений в галузі електрозварювання



Степан Прокопович Тимошенко
(1878-1972),
академік
Всеукраїнської
академії наук,
всесвітньовідомий
вчений у галузі
механіки,
директор-засновник
Інституту технічної
механіки



Олександр Генріхович Гольдман
(1884-1971),
академік Академії
наук УРСР,
директор-засновник
Інституту фізики у
Києві (1929 р.)



В. Г. Бар'яхтар,
директор-засновник,
почесний директор
Інституту магнетизму
НАН України,
академік, Герой
України, видатний
учений у галузі
теоретичної фізики,
фізики твердого тіла
та магнітних явищ

ядерної фізики, фізики конденсованого стану речовини, матеріалознавства, атомної енергетики, радіоекології, виробництва радіоізоотопів. На унікальному приладі — ізохронному циклотроні «У-240» виконуються експерименти з просторово-змінними магнітними полями, в яких утримуються частинки на заданих орбітах прискорення незалежно від зміни їх мас завдяки релятивістським ефектам, досліджується поділ важких ядер (мал. 1.4).



Мал. 1.4. Ізохронний циклотрон У-240

Перші професійні астрономічні обсерваторії в Україні було засновано в університетах, які нині є провідними закладами вищої освіти — Львівському, Київському, Одеському і Харківському. Окрему історію має обсерваторія в Миколаєві. Її створили в 1821 р. для потреб Чорноморського флоту — забезпечення його точним часом і морехідними картами, а також для налагодження навігаційних приладів та навчання штурманів астрономічним методам орієнтування.

Університетські обсерваторії дотепер продовжують свою науково-освітню діяльність. З ними пов'язана лівова частка історії астрономічної науки в Україні, адже тут працювали чи здобували професійну освіту майже всі українські астрономи.

Астрономічні обсерваторії в Україні мають не лише провідні (класичні) університети, а й НАН України. Це відносно молоді наукові установи, але великі наукові центри. Дві з них, Радіоастрономічний інститут та Полтавська гравіметрична обсерваторія, є спеціалізованими установи, де виконують дослідження з радіоастрономії та гравіметрії.

Натомість Головна астрономічна обсерваторія НАН України виконує широкий спектр астрономічних досліджень — позиційна астрономія та космічна геодинаміка, фізика Сонця і тіл Сонячної системи, фізика й еволюція зір та галактик, фізика комет та космічної плазми, астрономічне й космічне приладобудування. Її науковці створили Атлас зворотного боку Місяця, зоряний каталог ФОНАК, оригінальні спектральні, фотометричні й поляриметричні прилади, з допомогою яких визначили фізичні властивості атмосфер Марса, Юпітера й Сатурна.



**Ахентсьєва
Зінаїда Миколаївна**
(1900-1969),
український фізик і
астроном,
член-кореспондент
НАН України,
багаторічний
директор Полтавської
гравіметричної
обсерваторії, під
керівництвом якої
установа стала однією
з провідних у Європі



**Яцків Ярослав
Степанович**,
директор ГАО,
академік НАН України,
відомий фахівець з
космічної геодинаміки,
фундаментальної
астрометрії та зоряної
астрономії

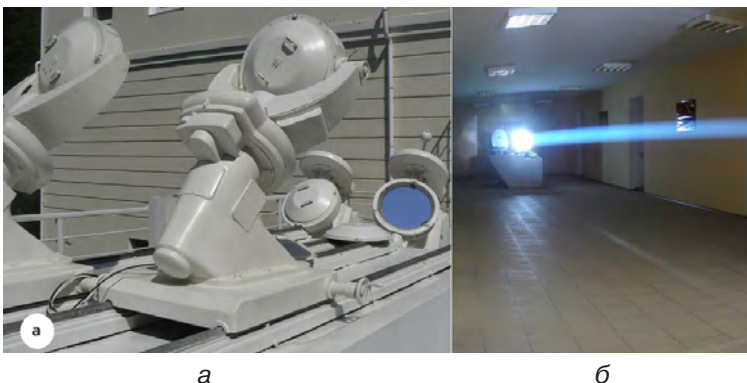
У ГАО також розроблено низку фотометричних моделей комет та фізична теорія ядер комет, оригінальні методи і програмне забезпечення для спостережень за космічними та астрономічними об'єктами і для обробки отриманих даних.

Сучасна ГАО посідає провідне місце в Україні та світі з деяких напрямів астрономії й астрофізики, зокрема дослідження обертання Землі й побудови координатних систем у космічному просторі, в галузі визначення вмісту первинного гелію у Всесвіті, вивчення блакитних карликових галактик з рекордно низьким вмістом важких елементів, дослідження та теоретичного моделювання коричневих карликів, теорії переносу випромінювання в сонячній та зоряних атмосферах, поляризаційних дослідженнях тіл Сонячної системи.



а б
Мал. 1.5. Головний корпус ГАО в Києві (а)
та її астрофізичний філіал на Кавказі (б).

Українська астрономія має кілька унікальних телескопів. Одним з кращих у світі за спектральною роздільною здатністю є горизонтальний сонячний телескоп АЦУ-5 Ернеста Гуртовенка, встановлений в ГАО НАН України в Києві (Голосіїв).



а б
Мал. 1.6. Целостатна група (а) та об'єктив горизонтального сонячного телескопа АЦУ-5 ГАО НАН України.

В Україні під Харковом працює найбільший в світі радіотелескоп декаметрового діапазону — УТР-2 (український Т-подібний радіотелескоп-2), призначений для спостережень у діапазоні 8 — 33 МГц (довжина хвиль 10—20 м). Його ефективна площа (площа, якою він сприймає випромінювання) становить 150 тисяч кв. м, що перевищує сумарну ефективну площу всіх інших радіотелескопів у світі.



Мал. 1.7. Антени радіотелескопа УТР-2.

Українські астрономи мають змогу також виконувати спостереження з допомогою найбільших у світі телескопів, наприклад, Космічного телескопа імені Габбла чи Дуже великого телескопа Європейської південної обсерваторії. Або брати дані астрономічних спостережень з Міжнародної віртуальної обсерваторії.

Українські вчені долучаються до найсучасніших астрономічних експериментів. 12 листопада 2014 р. вперше в історії людства космічний зонд було висаджено на поверхню комети Чурюмова-Герасименко (67P) та отримано унікальні фізичні, астрономічні, хімічні дані. В межах космічної місії «Розета» упродовж 12 років здійснювалися дослідження комети, відкритої в 1969 році вітчизняними астрономами К.І. Чурюмовим та С. Герасименко.



К.І. Чурюмов
(1937 — 2017),
член-кор.
НАН України



Мал. 1.8. Ядро комети Чурюмова-Герасименко та космічний зонд «Розета»

? Запитання для самоперевірки

1. Що є предметом вивчення у фізиці та астрономії?
2. Якою є роль фізики та астрономії в життєдіяльності людини та суспільному розвитку?
3. Які методи пізнання використовують фізична та астрономічна науки?
4. Що таке наукова гіпотеза?
5. Охарактеризуйте основні етапи розвитку фізико-астрономічного знання.
6. Висвітліть внесок українських учених у розвиток фізики та астрономії в світі.

§ 2. Фізичні теорії. Фізика як теоретична основа сучасної астрономії

- ▶ Початкові відомості про фундаментальні фізичні теорії
- ▶ Фізика як теоретична основа сучасної астрономії

ПОЧАТКОВІ ВІДОМОСТІ ПРО ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ФІЗИЧНІ ТЕОРІЇ. Науковий експеримент дає можливість ученим відкривати *фізичні закони*.

Фізичний закон — це опис співвідношень у природі, який виявляється за певних умов в експерименті (досліді).

Не всі закони фізики мають однакове наукове значення. У фізиці виокремлюють фундаментальні, часткові та закони фундаментального походження.

Фундаментальним, наприклад, є закон збереження енергії. Закони, які виконуються лише у певних обмежених умовах, називаються частковими. Це, наприклад, закон Гука, закон Ома. Закони, які можна математично вивести з фундаментальних, називають законами фундаментального походження.

Г. Галілей дав кількісний опис вільного падіння тіл на землю: швидкість вільного падіння не залежить від їх маси. Разом з тим він не зміг дати відповідь на запитання, чому тіла падають. Ісаак Ньютон, основоположник фундаментальної фізичної теорії, висловив гіпотезу, згідно з якою причиною падіння тіл на Землю є всесвітнє тяжіння. Ньютоном була створена, як побачимо далі, класична теорія всесвітнього тяжіння.

Сукупність законів, що описують широке коло явищ, називають науковою теорією.

Наприклад, закони Ньютона складають зміст однієї з перших фізичних теорій — класичної механіки. Зміст класичної теорії електромагнетизму складають закони, сформульовані англійським фізиком М. Фарадеєм, Дж. Максвеллом.

Теорія (грец. *theoria* — дослідження, спостереження) — це система фізичних знань, яка дає цілісне, системне відображення закономірних і сутнісних зв'язків між певними фізичними явищами і є структурним елементом фізичної картини світу.

У фізиці розглядаються такі фізичні теорії: *класична механіка, молекулярно-кінетична теорія, статистична фізика, електродинаміка* тощо.

Будь-яка теорія побудована за таким принципом: встановлюється *основа* теорії (спостережувані явища, ідеалізована модель,

фізичні величини) → формується *ядро* теорії (закони, принципи, постулати) → наслідки теорії (межі дії теорії, передбачення нових процесів, практичне застосування).

Усі фізичні теорії пов'язані між собою і визначають структуру фізики як науки.

ФІЗИКА ЯК ТЕОРЕТИЧНА ОСНОВА СУЧАСНОЇ АСТРОНОМІЇ.

Сучасну астрономію неможливо уявити без фізики, бо в астрономічних дослідженнях застосовують усі фундаментальні закони фізики і теорії, широко використовують методи фізики. Наприклад, закон всесвітнього тяжіння лежить в основі небесної механіки, а на закони геометричної оптики спираються під час розробки оптичних схем телескопів. Дослідження спектрального складу світла (спектральний аналіз) є основою астрофізики. За допомогою спектрального аналізу астрономи навчилися визначати не лише хімічний склад небесних тіл, а й температуру, швидкість руху, відстані до них та багато іншого.

Водночас вивчення Космосу дозволило зробити багато важливих відкриттів. Наприклад, було виявлено невідомі раніше на Землі стани речовини й нові джерела енергії (зокрема, атомна енергія). Принцип інерції, відкритий Галілео Галілеєм, закон всесвітнього тяжіння Ісаака Ньютона й загальна теорія відносності Альберта Ейнштейна — усі ці відкриття були зроблені на підставі астрономічних даних. Легенда про яблуко, що впало на голову І. Ньютону й підштовхнуло його до виявлення закону всесвітнього тяжіння, красива. Але геніальній здогадці науковця передував ретельний аналіз руху Місяця навколо Землі.

А. Ейнштейн вважав, що інтелектуальні здобутки, без яких розвиток сучасної техніки неможливий, отримані, головню, завдяки спостереженням зоряного неба.

Нині завдяки астрономії Всесвіт став для дослідників величезною науковою лабораторією, в якій відбувається пошук технічних і технологічних рішень на благо людини. Астрономія, спираючись на знання з фізики, здобуває фундаментальні знання про довілля, збагачує фізику і хімію результатами досліджень речовини за таких фізичних умов (температура, тиск, магнітне поле тощо), які неможливо відтворити в земних лабораторіях.

? Запитання для самоперевірки

1. Що називають фізичним законом?
2. Назвіть основні компоненти фізичної теорії.
3. Які фундаментальні фізичні теорії ви знаєте?
4. Чому фізика є теоретичною основою сучасної астрономії? Наведіть приклади.

РОЗДІЛ 1. МЕХАНІКА

Перше, що впадає у вічі під час спостереження навколишнього світу, — його мінливість. Рухаються люди й автомобілі, хмари, зорі і Місяць, листя на деревах і краплини дощу. Рухаються також кров у судинах, сік у рослинах, вода у річках.

Характерною особливістю всіх цих явищ і процесів є зміна положення предметів (фізичних тіл) один відносно одного і відносно Землі з плином часу. Чи йде пішохід, чи пролітає літак — їх положення відносно Землі з часом змінюється.

Спостерігаючи природні явища, людина з давніх часів намагалася збагнути, що «рухає» Землю та світила. Якщо рух тіл на Землі досить очевидний, то пояснити рух небесних тіл було складніше. Відповіді на ці питання дає *механіка* — *розділ фізики в якому вивчається рух і взаємодія тіл*.

Механіка — одна з найдавніших наук про природу, наукові основи якої було закладено видатним італійським ученим Галілео Галілеєм (1564 — 1642) та розвинуто Ісааком Ньютоном (1642 — 1727). Основне завдання механіки полягає у визначенні положення тіла (координати) відносно інших тіл у будь-який момент часу. Вивчити рух тіла — означає встановити, як змінюється його положення в просторі з плином часу.

У свою чергу механіка поділяється на *кінематику* (вивчає рух тіл, без урахування їх взаємодії, чинників, що його зумовлюють), *динаміку* (встановлює зв'язки між кінематичними характеристиками руху і чинниками, що його зумовлюють, тобто закони руху) та *статику* (розглядає умови рівноваги тіл).

У механіці є фізичні величини, що характеризують рух і зберігаються за певних умов. Такими величинами є імпульс та енергія. Властивість імпульсу та енергії зберігатися є одним із фундаментальних законів природи.

§ 3. Механічний рух. Основна задача механіки

- ▶ Механічний рух та його види
- ▶ Відносність механічного руху
- ▶ Основна задача механіки

МЕХАНІЧНИЙ РУХ ТА ЙОГО ВИДИ. Ви вже знаєте, що невід’ємною формою існування матерії у Всесвіті є рух. Земля обертається навколо власної осі і навколо Сонця, яке, в свою чергу, разом із усіма тілами Сонячної системи рухається навколо центра Галактики. Частина речовини, яка має певну форму та об’єм (Земля, Сонце, планети, рослини, тварини), усе, що нас оточує, і, нарешті, ми самі — називається *фізичними тілами*.

Механічним рухом називають зміну просторового положення тіла відносно інших тіл з плином часу.

Найпростішим його видом є поступальний рух, під час якого всі точки тіла рухаються однаково, а будь-яка подумки проведена в ньому пряма, залишається паралельною самою собі. Наприклад, вантаж, що опускається краном на землю, рухається поступально, водночас кожна точка його стріли рухається вздовж дуги. Поступально рухаються також і кабіни оглядового колеса (мал. 3.1).



Мал. 3.1. Поступальний рух тіла

Під час руху тіла кожна з його точок рухається вздовж певної траєкторії.

Траєкторією називають уявну лінію в просторі, вздовж якої рухається тіло (точка).

За її виглядом механічні рухи поділяють на прямолінійні (траєкторія — пряма лінія) й криволінійні (траєкторія — крива лінія).

Кожне тіло має певні розміри, а отже, різні його точки перебувають одночасно в різних місцях простору. Як визначити положення всього тіла? Загалом це зробити складно. У багатьох задачах дослідження руху тіла можна обмежитись описом руху лише однієї його точки. Тоді рухоме тіло подумки замінюють однією точкою (ідея І. Ньютона).

Тіло, розмірами якого за певних умов руху можна знехтувати, називають матеріальною точкою.

Матеріальна точка є найпростішою моделлю тіла, використання якої спрощує опис механічного руху і надає можливість застосовувати відповідний математичний апарат.

Будь-яке тіло, якщо розміри його важливі, в механіці поділяють на сукупність матеріальних точок і вивчають рух кожної з них, а потім здійснюють потрібні узагальнення.

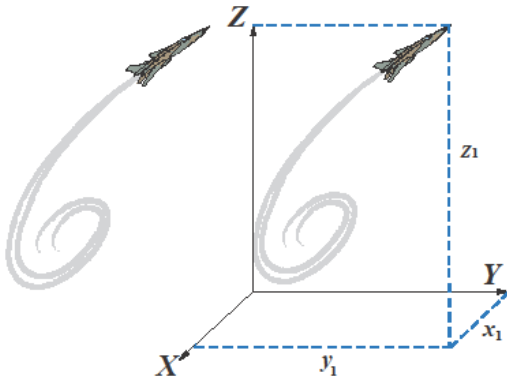
Коли ж тіло можна вважати матеріальною точкою? Тіло можна вважати матеріальною точкою чи ні, залежить не від його розмірів («велике» воно чи «мале»), а від поставленої задачі. Одне й те ж тіло, наприклад, літак чи Земля, в одних задачах може розглядатись як матеріальна точка, в інших — ні.

Тіло можна вважати матеріальною точкою, якщо виконується хоча б одна з даних умов:

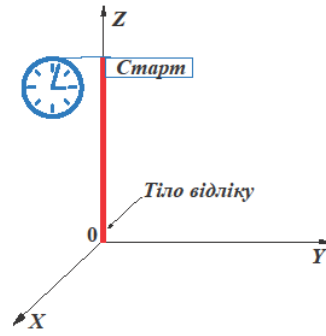
- розміри тіла малі порівняно з пройденою відстанню;
- усі точки тіла рухаються однаково, тобто воно здійснює поступальний рух.

ВІДНОСНІСТЬ МЕХАНІЧНОГО РУХУ. Щоб охарактеризувати зміну положення тіла в просторі потрібно обрати тіло, відносно якого розглядається цей рух. Таке тіло називають *тілом відліку*. За тіло відліку, зазвичай, приймають таке, яке жорстко пов'язане із Землею (будинок, дерево, залізничні колії, причал тощо). Рух планет, наприклад, розглядають відносно Сонця, а не Землі чи іншої планети. З метою визначення місця розташування об'єкта (матеріальної точки) з тілом відліку пов'язують систему координат (мал. 3.2).

З метою повної характеристики руху слід вибрати ще й засіб й спосіб вимірювання часу, наприклад, годинник, нерухомий відносно тіла відліку (мал. 3.3).



Мал. 3.2. Система координат



Мал. 3.3. Система відліку

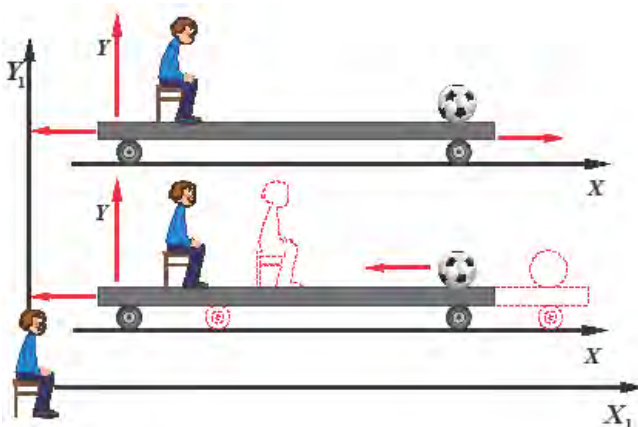
Тіло відліку, систему координат і вибраний спосіб вимірювання часу, які пов'язані з тілом, називають системою відліку.

Положення тіла у просторі визначається у будь-який момент часу трьома координатами: $x = f(t)$; $y = f(t)$; $z = f(t)$.

Координата тіла може бути як додатною, так і від'ємною величиною і з часом збільшуватися (тіло рухається у додатному напрямку відповідної осі), або зменшуватися (тіло рухається у протилежному напрямку). Знання рівнянь руху дає змогу визначити час і місцезнаходження тіла.

Просторове положення тіла можна одночасно розглядати в різних системах координат, відносно яких воно буде різним. На практиці зручно обирати таку систему, в якій рух описується найпростіше.

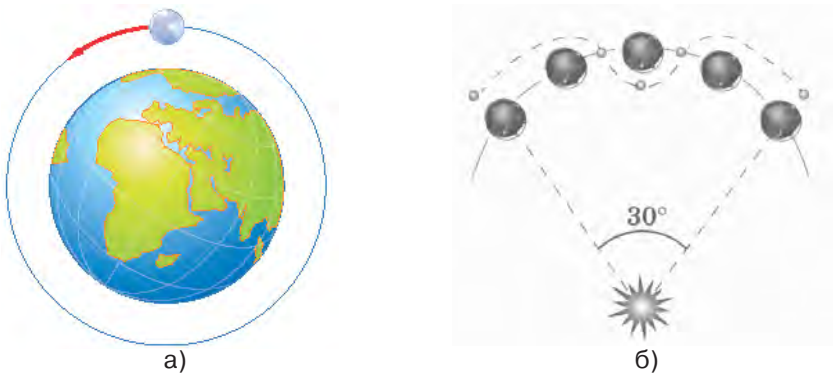
Наприклад, нерухома людина знаходиться на платформі і спостерігає за тілом, що лежить на ній (мал. 3.4).



Мал. 3.4. Відносність руху

Пов'яжемо із платформою систему відліку XU . Для спостерігача на ній тіло знаходиться в стані спокою. Водночас для спостерігача, що знаходиться біля платформи (система X_1Y_1) — тіло рухається. Отже, одне й те ж тіло у різних системах відліку рухається по-різному. В одній системі (XU) воно знаходиться у стані спокою, а в іншій (X_1Y_1) — рухається. Тому у фізиці говорять про відносність механічного руху і його завжди розглядають у певній системі відліку, від вибору якої залежить і вигляд траєкторії руху тіла.

На малюнку (мал. 3.5) зображено траєкторії руху Місяця у гео- та геліоцентричній системах відліку.



Ма. 3.5. Траєкторія руху Місяця:

- а) відносно Землі (геоцентрична система відліку);
 б) відносно Сонця (геліоцентрична система відліку)

ОСНОВНА ЗАДАЧА МЕХАНІКИ. Вивчити рух тіла — означає встановити, як змінюється його положення в просторі з плином часу. Так, астрономи, користуючись законами механіки, можуть точно обчислювати координати небесних тіл у будь-який момент часу. Тому вони передбачають такі явища, як наприклад, сонячні і місячні затемнення.

Застосування законів механіки дає змогу визначити положення тіл не лише в майбутньому, а й у минулому. Наприклад, визначити точну дату початку походу князя Ігоря проти половців історикам допомогли астрономи. Оскільки в «Слові о полку Ігоревім», в якому описано цей похід, зазначено, що перед вступом Ігоря на землю Половецьку відбулося повне сонячне затемнення. За цим астрономічним явищем можна встановити, що подія відбулася у травні 1185 р.

Учені, що запускають ракету-носій штучного супутника Землі, користуються законами механіки, щоб передбачити, де перебуватиме супутник у будь-який момент часу. Це є обов'язковою умо-

вою, наприклад, успішного стикування супутників, запускених із різних континентів, здійснення посадок на поверхні Місяця, Марса чи Венери.

Щоб влучити в ціль, траєкторію артилерійського снаряда розраховують за законами механіки. Крім того, користуючись ними, можна обчислити швидкість тіл, період їх обертання, гальмівний шлях транспортних засобів і виконати багато інших завдань.

! Головне в цьому параграфі

Механіка — це розділ фізики, в якому вивчається рух і взаємодія тіл.

Механічним рухом називають зміну просторового положення тіла відносно інших з плином часу.

Траєкторією руху називають уявну лінію у просторі, вздовж якої рухається тіло.

Тіло, розмірами якого за певних умов руху можна знехтувати, називають матеріальною точкою.

Тіло відліку, систему координат і вибраний спосіб вимірювання часу, які пов'язані з тілом, називають системою відліку.

Рух завжди розглядають відносно певної системи відліку, тому говорять, що механічний рух є відносним так само як і стан спокою.

Основна задача механіки — визначення положення (координати) тіла у будь-який момент часу.

? Запитання для самоперевірки

1. Що таке механічний рух?
2. Що таке траєкторія?
3. На які види поділяють рухи залежно від траєкторії?
4. Що розуміють під матеріальною точкою?
5. Коли тіло можна вважати матеріальною точкою, а коли — ні? Наведіть приклади.
6. Що називають системою відліку? З чого вона складається?
7. У чому полягає відносність руху?
8. У чому полягає основна задача механіки?

Вправа до § 3

- 1 (с). Наведіть приклад системи відліку, в якій простіше описувати: а) рух потяга?; б) рух планет?
- 2 (д). Чи залежить вид траєкторії від вибору системи відліку? Відповідь поясніть.

§ 4. Основні характеристики механічного руху

- ▶ Шлях і переміщення
- ▶ Швидкість руху. Додавання швидкостей

ШЛЯХ І ПЕРЕМІЩЕННЯ. Під час руху тіла кожна з його точок рухається вдовж траєкторії та проходить деякий шлях.

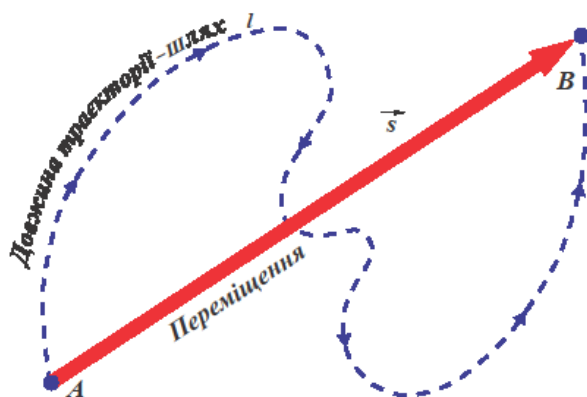
Шлях — це довжина ділянки траєкторії, яку тіло проходить за певний проміжок часу.

Шлях — скалярна величина, яка позначається латинською літерою l . Його одиниця в СІ — метр (m). Якщо окремі ділянки шляху накладаються одна на одну (наприклад, рух тіла по колу), то пройденим шляхом вважають суму довжин усіх ділянок траєкторії. Даною фізичною величиною характеризується як далеко перемістилося тіло вздовж власної траєкторії, але не вказується на те, у який бік воно рухається і де, власне, перебуває у певний момент часу.

Щоб визначити положення у довільний момент часу потрібно знати не лише пройдений тілом шлях, а і його переміщення.

Переміщенням називають напрямлений відрізок прямої, що сполучає початкове положення тіла з кінцевим.

На малюнку (мал. 4.1) відрізком прямої AB зображується переміщення матеріальної точки під час руху з точки A у точку B . Переміщення позначають літерою \vec{s} і йому приписують напрямок від початкової точки руху до кінцевої.



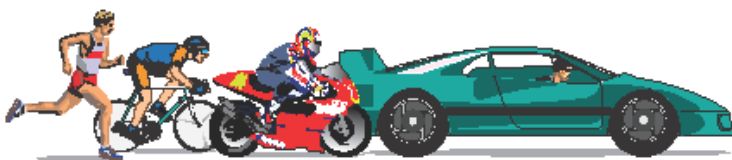
Мал. 4.1. Траєкторія, шлях і переміщення

Переміщенням називають вектор, який сполучає початкове й кінцеве положення тіла, і спрямований із початкової точки руху в кінцеву.

Модуль вектора переміщення позначають $|\vec{s}|$ або просто s .

Варто звернути увагу на те, що шлях є величиною скалярною, а переміщення — векторною. Шлях, зазвичай, більший від модуля переміщення і лише під час прямолінійного рівномірного руху шлях може дорівнювати переміщенню (якщо тіло не змінює напрямку руху).

ШВИДКІСТЬ РУХУ. ДОДАВАННЯ ШВИДКОСТЕЙ. Рух тіла характеризується різними фізичними величинами. Наприклад, у подорож одночасно вирушають однією і тією ж трасою вирушають автомобіліст, мотоцикліст, велосипедист і бігун (мал. 4.2).



Мал. 4.2. Тіла рухаються з різною швидкістю

До одного й того ж місця вони прибудуть у різний час: раніше за всіх автомобіліст, а пізніше — бігун. Усі четверо рухалися однаковими траєкторіями, пройшли і проїхали однаковий шлях, здійснили однакові переміщення. Водночас їхні рухи відрізняються швидкістю.

Швидкість є просторово-часовою характеристикою руху тіла. Оскільки переміщення \vec{s} — величина векторна, а проміжок часу t — скалярна, то швидкість \vec{v} — теж величина векторна, і її напрямком на певній ділянці руху збігається з напрямком переміщення.

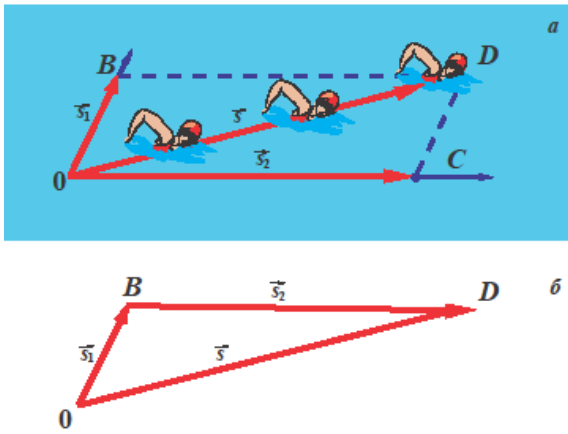
Швидкістю руху називається векторна величина, яка вимірюється відношенням переміщення до часу, за який воно було здійснене: $\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$.

За одиницю швидкості у Міжнародній системі одиниць фізичних величин (СІ) приймають сталу швидкість, з якою тіло рухається вдовж прямої і переміщується на 1 м за 1с.

Отже, одиницею швидкості є *метр за секунду*, $[v] = \frac{м}{с}$.

Водночас на практиці використовують й інші одиниці її вимірювання, зокрема — $1 \frac{км}{год} = \frac{1000 м}{3600 с} = \frac{10 м}{36 с}$.

Розглянемо рух тіла в різних системах відліку. Нехай плавець рухається із точки O перпендикулярно течії річки (мал. 4.3).



Мал. 4.3. Додавання переміщень

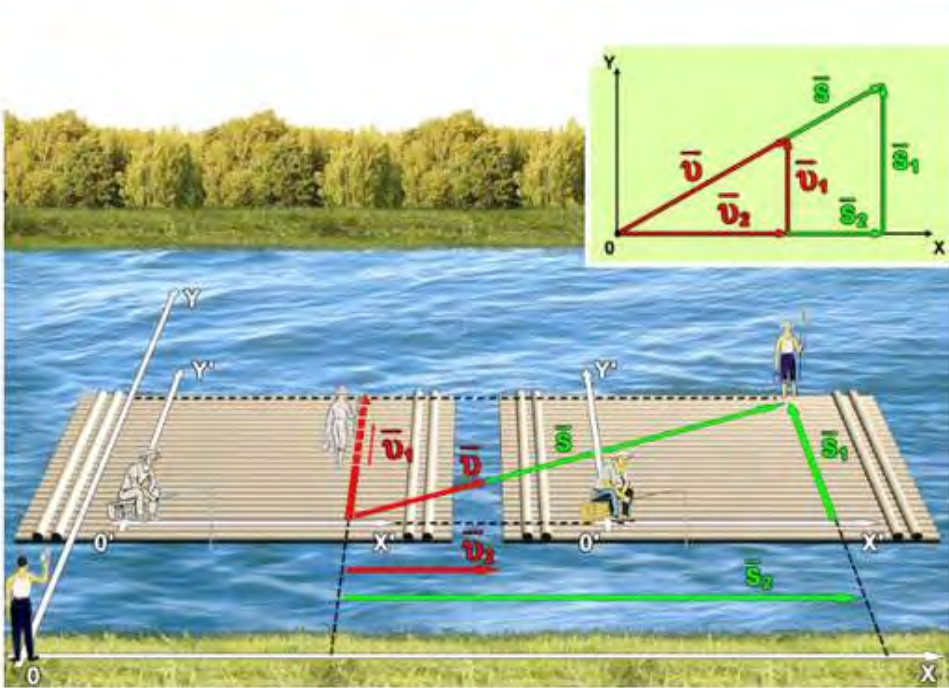
Нерухому систему відліку пов'яжемо з берегом. Переміщення води відносно берега за той самий час становитиме \vec{s}_2 . На віддаль s_2 вода перенесе і плавця. У результаті додавання переміщення плавця відносно води та води відносно берега — плавець знаходитиметься у точці D . Його результуюче переміщення \vec{s} відносно системи відліку, пов'язаної із Землею, дорівнює діагоналі OD паралелограма $OBCD$, побудованого на переміщеннях \vec{s}_1 та \vec{s}_2 : $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$. Цей спосіб додавання векторів називають правилом паралелограма. Додавання цих самих векторів можна здійснити й інакше: до кінця вектора \vec{s}_1 переносять паралельно самому собі вектор \vec{s}_2 . Результуючий вектор $\vec{s} = \overline{OD}$ сполучає початок вектора \vec{s}_1 з кінцем вектора \vec{s}_2 трикутника OBD . Цей спосіб додавання називають способом трикутника.

Отже: переміщення \vec{s} тіла у нерухомій системі відліку дорівнює векторній сумі його переміщення \vec{s}_1 у рухомій системі і переміщення \vec{s}_2 рухомої системи відносно нерухомої.

Це ж правило пов'яже швидкості того самого тіла у двох системах відліку. Розділивши співвідношення $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$ на час руху t дістанемо: $t = t_1 + t_2$.

Це означає, що швидкість тіла \vec{v} у нерухомій системі відліку дорівнює векторній сумі швидкості \vec{v}_1 тіла в рухомій і швидкості \vec{v}_2 рухомої системи відносно нерухомої (мал. 4.4).

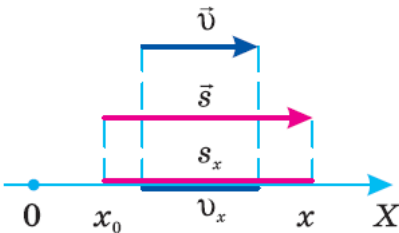
Якщо відомо вектор переміщення тіла \vec{s} і координати його початкового положення, то можна також визначити координати наступного положення тіла. Розв'язати цю задачу можна, знаючи проекцію вектора на координатну вісь.



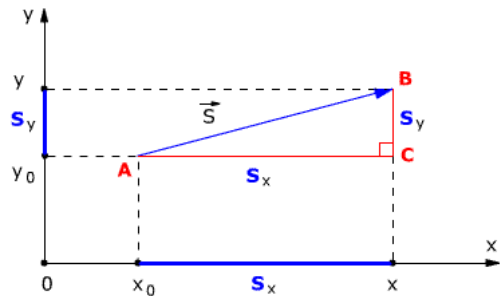
Мал. 4.4. Закон додавання переміщень і швидкостей

На малюнку (мал. 4.5) показано проєкції переміщення та швидкості на вісь OX . Зміна координат тіла під час його руху вздовж прямої чисельно дорівнює переміщенню тіла вздовж осі $s_x = x - x_0$.

Розглянемо, як визначаються координати наступного положення тіла, якщо відомо координати його початкового положення і вектор переміщення? Нехай тіло здійснило переміщення \vec{s} (мал. 4.6). На рисунку зображено таке переміщення точки, за якого координати x і y збільшуються. Проєкції вектора \vec{s} на осі координат — додатні ($s_x > 0$; $s_y > 0$).



Мал. 4.5. Проєкції переміщення і швидкості на вісь X



Мал. 4.6. Зв'язок між проєкцією вектора переміщення і зміною відповідної координати

Координати початкового положення тіла — $A(x_0, y_0)$, а наступного — $B(x, y)$. З рисунка видно, що $x = x_0 + s_x$, а $y = y_0 + s_y$. Нагадаємо, що у випадку коли вектор перпендикулярний до вісі, його початкові і кінцеві координати є однаковими, наприклад $x = x_0$, тому проекція вектора на вісь $s_x = x - x_0 = 0$.

У різних системах відліку проекція переміщення тіла у нерухомій системі, наприклад на вісь $x(sx)$ дорівнює сумі проекцій переміщення s_{x_1} та s_{x_2} : $s_x = s_{x_1} + s_{x_2}$. Аналогічно проекція швидкості на вісь x визначається як $v_x = v_{x_1} + v_{x_2}$.

! Головне в цьому параграфі

Траєкторією руху тіла (точки) називають уявну лінію в просторі, вздовж якої рухається тіло (точка).

Шлях — це довжина ділянки траєкторії, яку тіло проходить за певний проміжок часу.

Переміщенням називають вектор, який сполучає початкове і кінцеве положення тіла, і спрямований із початкової точки руху в кінцеву.

Швидкістю руху називається векторна величина, яка визначається відношенням переміщення до часу, за який це переміщення було здійснене.

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

В СІ одиницею швидкості є метр за секунду, $[v] = \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Залежність швидкості, переміщення, координати і шляху під час прямолінійного рівномірного руху є лінійною.

Переміщення \vec{s} і швидкість тіла \vec{v} — векторні величини. Вони складаються геометрично.

Швидкість тіла \vec{v} у нерухомій системі відліку дорівнює векторній сумі швидкості \vec{v}_1 тіла у рухомій системі відліку і швидкості \vec{v}_2 рухомої системи відносно нерухомої.

Проекція переміщення тіла у нерухомій системі відліку дорівнює сумі проекцій переміщення s_{x_1} та переміщення...: $s_x = s_{x_1} + s_{x_2}$.

Проекція швидкості на вісь x визначається як $v_x = v_{x_1} + v_{x_2}$.

? Запитання для самоперевірки

1. Що таке шлях?
2. Що таке переміщення?
3. Що називають швидкістю руху тіла?
4. Як визначити координати наступного положення тіла, якщо відомо координати його початкового положення і вектор переміщення?

§ 5. Рівномірний прямолінійний рух

- ▶ Рівномірний прямолінійний рух
- ▶ Графіки залежності кінематичних величин рівномірного руху від часу

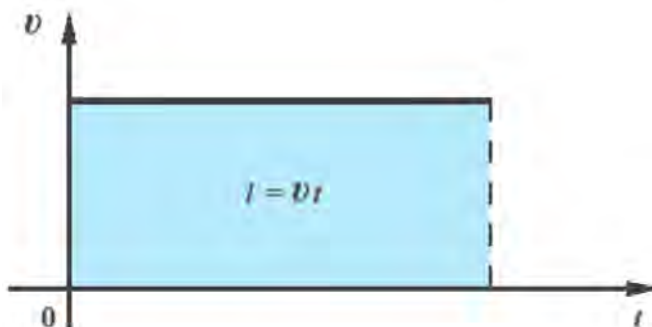
РІВНОМІРНИЙ ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РУХ. Найпростішим видом механічного руху є рівномірний прямолінійний рух.

Рівномірним прямолінійним рухом матеріальної точки є такий рух, коли матеріальна точка, рухаючись уздовж прямої, за будь-які рівні проміжки часу здійснює однакові переміщення.

Під час рівномірного прямолінійного руху тіло переміщується з постійною за модулем і напрямком швидкістю, тобто $v = \text{const}$, а отже, і проекція швидкості на вісь, наприклад OX є сталою величиною $v_x = \text{const}$. Охарактеризувати зміну положення тіла в просторі можна за виглядом його траєкторії.

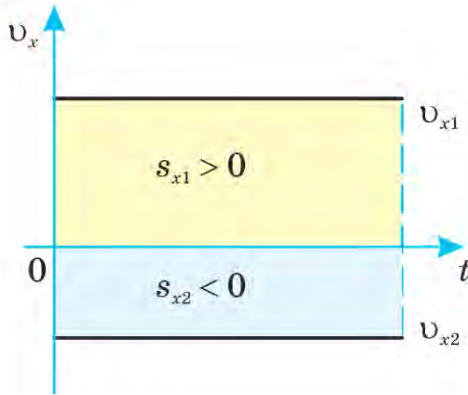
ГРАФІКИ ЗАЛЕЖНОСТІ КІНЕМАТИЧНИХ ВЕЛИЧИН РІВНОМІРНОГО ВІД ЧАСУ. *Графік швидкості.* Під час знаходження числового значення переміщення, швидкості або шляху зручно застосовувати графічний метод. На будь-якому графіку відображено функціональну залежність певних фізичних величин (наприклад, швидкості від часу). З метою побудови відповідного графіка кінематичні величини відкладають вздовж осей, які називають осями координат (згадайте: горизонтальну вісь називають *віссю абсцис*, а вертикальну — *ординат*).

Оскільки під час прямолінійного рівномірного руху швидкість тіла не змінюється, то графік модуля швидкості представляє собою пряму, паралельну осі часу і розміщену над нею, оскільки модуль швидкості завжди додатний (мал. 5.1).



Мал. 5.1. Графік модуля швидкості

Графіком залежності проекції швидкості є пряма, паралельна осі часу і розміщена над нею, якщо тіло рухається вздовж осі X (проекція швидкості додатна $v_x > 0$ і під віссю — коли тіло рухається проти вибраного напрямку осі ($v_x < 0$) (мал. 5.2).



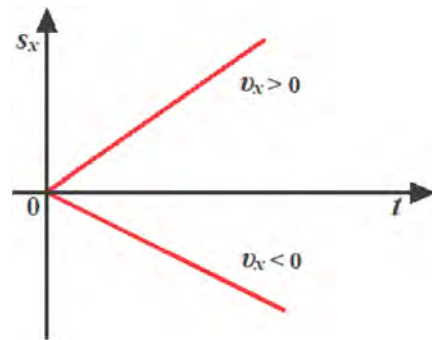
Мал. 5.2. Графік проекції швидкості

Пройдений тілом шлях визначається на цьому графіку площею прямокутника, утвореного лінією графіка модуля швидкості і перпендикуляром, опущеним на вісь t у точку, яка відповідає часові руху ($s_{x1} > 0$, $s_{x2} < 0$).

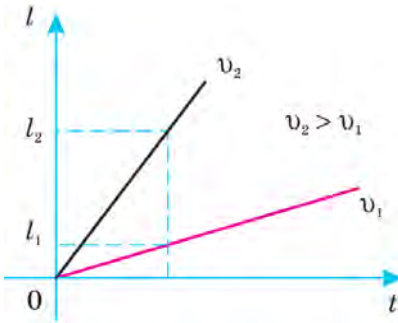
Графік переміщення і шляху. Оскільки залежність переміщення від часу $s_x = s_x(t)$ під час прямолінійного рівномірного руху є прямопропорційною $s = vt$, $s_x(t) = v_x t$, де швидкість — постійна, а час — змінна незалежна величина, то графічно вона зображатиметься прямою, яка проходить через початок координат (мал. 5.3).

Якщо проекція переміщення набуває додатних значень ($v_x > 0$), то графік проекції переміщення напрямлений вгору, а якщо — від'ємних ($v_x < 0$), то — вниз.

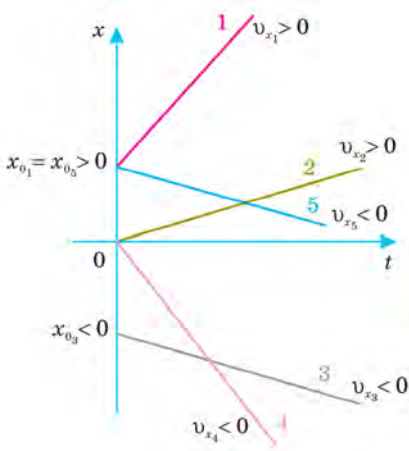
Графік шляху $l = l(t)$. Під час прямолінійного рівномірного руху модуль переміщення дорівнює довжині пройденого шляху $l = vt$, де v — модуль швидкості. Графіком такої залежності є пряма, що проходить через початок координат і завжди направлена вгору (шлях не може набувати від'ємних значень). Залежно від значення швидкості нахил прямої до осі часу буде різним: чим більша швидкість, тим крутіше здійсмається графік (мал. 5.4).



Мал. 5.3. Графік проекції переміщення

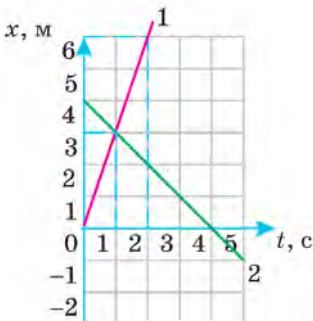


Мал. 5.4. Графік шляху



Мал. 5.5. Графіки руху тіл

від часу. За їх допомогою можна з'ясувати характер руху тіла і зміни відповідних величин з плином часу. Оскільки графіком лінійної функціональної залежності (наприклад, швидкості, переміщення, координати і шляху) є пряма лінія, то для його побудови достатньо визначити дві точки, що відповідають певним моментам часу, і провести через них пряму.



Мал. 5.6.

Графік руху тіла $x = x(t)$ — характеризує зміну його координати з часом. З рівняння руху відомо, що $x(t) = x_0 + vxt$, де x_0 — початкова координата тіла, а vx — проекція його швидкості. Графіком такої функціональної залежності є пряма, направлена під певним кутом до осі t , яка перетинає вісь ординат (x) у точці x_0 (мал. 5.5).

Пряма проходить через початок координат, коли $x_0 = 0$ або зміщена вздовж осі x на величину x_0 , якщо коли $x_0 \neq 0$. Оскільки проекція швидкості може приймати як додатні так і від'ємні значення (напрямок вектора швидкості збігається з вибраним напрямком координатної осі або протилежний йому), то графік здійснюється вгору при ($vx > 0$) або спадає вниз при ($vx < 0$).

Графіки прямолінійного рівномірного руху відображають залежності відповідних параметрів руху (координат, пройденого шляху, переміщення і швидкості)

Приклад розв'язування графічної задачі
Задача. Користуючись графіками руху двох тіл (мал. 5.6):

1. Визначити:
 - а) швидкості тіл;
 - б) рівняння їхнього руху;
 - в) модуль переміщення за 4 с;
 - г) час та місце зустрічі;
 - д) відстань між тілами через 2 с від початку руху.

2. Побудувати графіки проєкцій швидкості і переміщення та шляху за 4 с руху.

Розв'язання

а) Швидкість визначаємо за формулою $v_x = \frac{x - x_0}{t}$. Інтервал часу зміни координати вибираємо довільно, спрощуючи обчислення. Наприклад, візьмемо $t = 2$ с. Перше тіло через 2 с руху мало координату $x = 6$ при $x_0 = 0$, тому проєкція швидкості

$$v_{x1} = \frac{6 \text{ м} - 0 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}; v_{x1} = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Для другого тіла $x_0 = 4$ м, а через $t = 2$ с, $x = 2$ м, тобто

$$v_{x2} = \frac{2 \text{ м} - 4 \text{ м}}{2 \text{ с}} = -1 \frac{\text{м}}{\text{с}}; v_{x2} = -1 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

б) Записуємо рівняння руху для цих тіл, виходячи з його загального вигляду $x = x_0 + v_x t$. Для першого тіла $x_1 = 3t$. Для другого — $x_2 = 4 - t$.

в) Визначаємо модуль переміщення за $t = 4$ с, користуючись формулою $s_x = v_x t$.

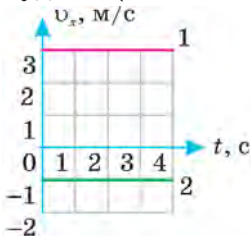
$$s_{x1} = 3t = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 4 \text{ с} = 12 \text{ м}, s_{x1} = 12 \text{ м}.$$

$$s_{x2} = -1t = (-1) \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 4 \text{ с} = -4 \text{ м}, s_{x2} = -4 \text{ м}.$$

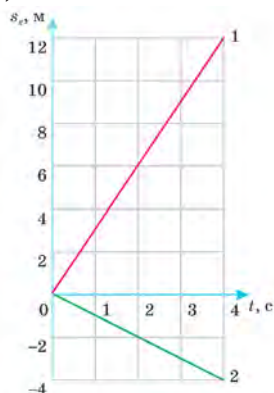
г) Визначаємо час і місце зустрічі. Для цього з точки перетину графіків руху двох тіл опускаємо перпендикуляр на вісь t і одержуємо час зустрічі 1 с. Перпендикуляр, опущений на вісь x , укаже координату зустрічі 3 м.

д) Через 2 с перше тіло матиме координату 6 м, а друге — 2 м. Відстань між тілами $l = x_1 - x_2 = 4$ м.

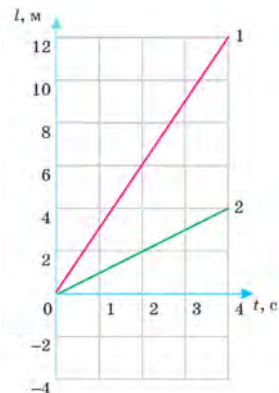
2. Використовуючи одержані результати, виконаємо відповідні побудови (мал. 5.7—5.9):



Мал. 5.7. Графіки проєкцій швидкостей



Мал. 5.8. Графіки проєкцій переміщень



Мал. 5.9. Графіки шляху

! Головне в цьому параграфі

Прямолінійним рівномірним рухом називають рух, під час якого тіло за будь-які рівні проміжки часу здійснює однакові переміщення.

Залежність швидкості, переміщення, координати і шляху під час прямолінійного рівномірного руху є лінійною. Графіком функціональної залежності є пряма лінія.

Якщо проекція переміщення набуває додатних значень ($v_x > 0$), то графік проекції переміщення напрямлений вгору, а якщо — від'ємних ($v_x < 0$), то — вниз.

Пройдений тілом шлях визначається на графіку площею прямокутника, утвореного лінією графіка модуля швидкості і перпендикуляром, опущеним на вісь t у точку, яка відповідає часові руху ($s_{x1} > 0$, $s_{x2} < 0$).

З метою побудови заданого графіка прямолінійного рівномірного руху достатньо визначити дві точки, що відповідають певним моментам часу, і провести через них пряму.

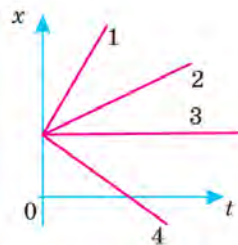
? Запитання для самоперевірки

1. Чи можна визначити кінцеве положення тіла, якщо відомо його початкове положення і довжина пройденого шляху?
2. Чим відрізняється графік шляху від графіка проекції переміщення?
3. Графік руху перетинає вісь часу: що це означає?
4. Чи можуть зменшуватись із часом координата рухомої точки і пройдений шлях?
5. Від чого залежить нахил прямої лінії до осі часу кожної із кінематичних величин (швидкості, переміщення, координати та шляху)?
6. Швидкість тіла під час прямолінійного руху з пункту A в пункт B у два рази більша від швидкості його руху у зворотному напрямку. Побудуйте графіки залежності від часу: а) координати; б) швидкості; в) шляху.

Вправа до § 5

1 (с). На малюнку (мал. 5.10) наведено графіки руху чотирьох тіл уздовж осі X . Що спільного в усіх цих рухів? Чим вони відрізняються?

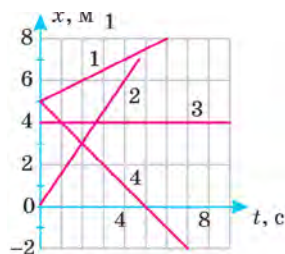
2 (д). Із двох точок A і B , які знаходяться на відстані 90 м одна від одної, одночасно в одному напрямку почали рухатися два тіла. Тіло, що рухається з точки A , має швидкість $5 \frac{M}{C}$, а з точки B — $2 \frac{M}{C}$. Через який час перше тіло наздожене друге? Які переміщення здійснюють тіла? Розв'яжіть



Мал. 5.10.

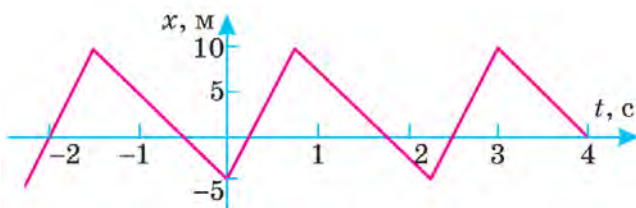
задачу аналітичним і графічним способами. Відповіді порівняйте.

- 3 (д).** За наведеними на малюнку (мал. 5.11) графіками опишіть рухи. Для кожного з них визначте модуль і напрямок швидкості, запишіть формулу $x(t)$ і побудуйте відповідні графіки.



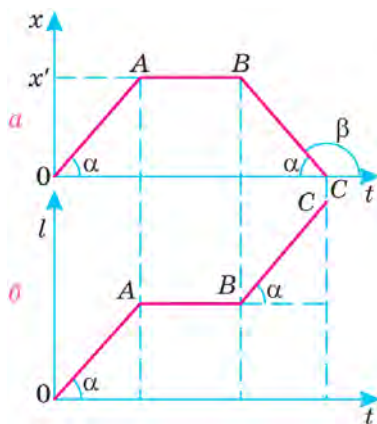
Мал. 5.11.

- 4 (д).** Рівняння руху вантажного автомобіля має вигляд $x_1 = -270 + 12t$, а рівняння руху пішохода, який іде узбіччям того самого шосе — $x_2 = -1,5t$. (Величини задано в СІ). Накреслити графіки руху і визначити: а) положення автомобіля і пішохода у момент початку спостереження; б) з якими швидкостями і в якому напрямку вони рухалися; в) коли і де вони зустрілися.
- 5 (д).** За графіком залежності координати від часу (мал. 5.12) побудувати графік залежності швидкості від часу.



Мал. 5.12.

- 6 (в).** На малюнку (мал. 5.13) подано графіки, які характеризують рух пішохода. Побудуйте на їх основі графік залежності $v_x(t)$.



§ 6. Рівнозмінний рух

- ▶ Рівнозмінний рух
- ▶ Швидкість рівнозмінного руху
- ▶ Прискорення

РІВНОЗМІННИЙ РУХ. У природі рівномірний прямолінійний рух зустрічається порівняно рідко. Рівномірно і прямолінійно тіла рухаються лише на невеликих ділянках траєкторії. Більш поширеним є нерівномірний рух тіла, під час якого миттєва швидкість тіла безперервно змінюється. Для спрощення аналізу явищ руху серед безлічі нерівномірних рухів виокремлюють рівнозмінний рух, під час якого швидкість тіла за будь-які однакові інтервали часу змінюється однаково (на одну й ту саму величину).

Рівнозмінним називають такий рух, у якому за будь-які рівні інтервали часу швидкість змінюється однаково.

Під рівнозмінним рухом розуміють як рівноприскорений так і рівносповільнений рухи.

ШВИДКІСТЬ РІВНОЗМІННОГО РУХУ. Для характеристики нерівномірного руху вводять поняття *середньої і миттєвої швидкостей*.

Середньою швидкістю проходження шляху називають скалярну величину, яка дорівнює відношенню пройденого шляху до інтервалу часу руху тіла.

$$v_c = \frac{l}{t} = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n},$$

де l_1, l_2, l_3 — ділянки шляху, пройдені за відповідні інтервали часу t_1, t_2, t_3, t_n .

З формули видно, що середня швидкість проходження шляху не є середнім арифметичним. Її обчислюють як відношення відповідних середніх сум (шляху) до відповідних сум інтервалів часу.

Для прикладу розглянемо задачу:

Задача. Велосипедист їхав з пункту A у пункт B так, що третину часу він рухався з середньою швидкістю $9 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, а решту часу (через прокол шини) вів велосипед, ідучи пішки зі швидкістю $3 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ (мал. 6.1). Визначте середню швидкість руху велосипедиста на всьому шляху.

Дано:

$$v_1 = 9 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

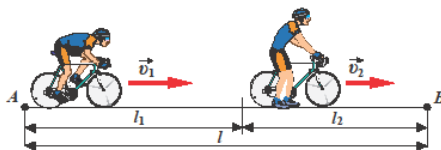
$$v_2 = 3 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

$$t_1 = t_2 = \frac{t}{2}$$

$$v_c = ?$$

Розв'язання:

За умовою задачі треба знайти середню швидкість проходження шляху. Пов'яжемо систему відліку з дорогою.



Мал. 6.1.

Рух велосипедиста у цілому був нерівномірним, але таким, що на різних ділянках шляху середні швидкості були різними. Рівняння руху на цих ділянках l_1 та l_2 матимуть вигляд: $l_1 = v_1 t_1$ та $l_2 = v_2 t_2$. За умовою задачі $t_1 = t_2 = \frac{t}{2}$, де t — загальний час руху на шляху $l = l_1 + l_2$.

За означенням середньої швидкості $v_c = \frac{l}{t}$ знайдемо пройдений велосипедистом шлях:

$$l = l_1 + l_2 = v_1 t_1 + v_2 t_2 = v_1 \frac{t}{2} + v_2 \frac{t}{2} = \frac{t}{2} (v_1 + v_2)$$

$$v_c = \frac{l}{t} = \frac{\frac{t}{2} (v_1 + v_2)}{t} = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{9 + 3}{2} = 6 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

Відповідь: $6 \frac{\text{км}}{\text{год}}$.

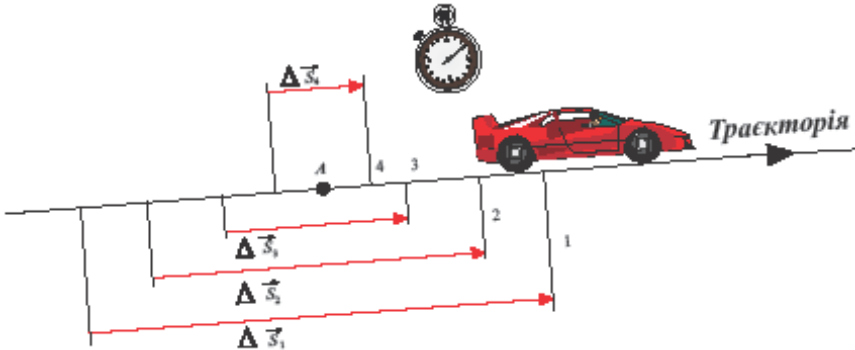
Зверніть увагу! Одержаний результат середньої шляхової швидкості не є середнім арифметичним для цих швидкостей, а є відношенням пройденого шляху до часу, за який цей шлях було пройдено.

Особливістю механічного руху є його неперервність: ні координати тіла, ні його швидкість не можуть змінюватися стрибками. Це означає, що у кожній точці траєкторії і в кожний момент часу швидкість матиме певне значення. Цю швидкість називають *миттєвою*.

Миттєвою швидкістю називають швидкість тіла у певний момент часу у певній точці траєкторії.

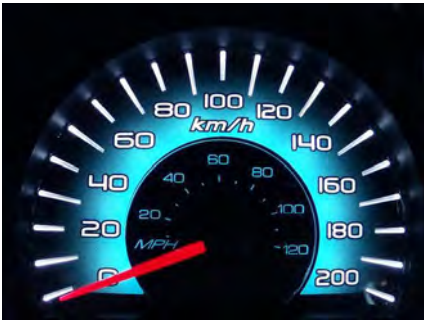
Як обчислити величину і напрям миттєвої швидкості? Для визначення її величини треба взяти переміщення $\Delta \vec{s}$ за такий інтервал часу Δt , за який швидкість можна вважати практично

незмінною. Ділянку траєкторії, яку тіло проходить за цей час, подумки і послідовно зменшують до тих пір, поки цю ділянку вже не можна відрізнити від точки, а нерівномірний рух на цій ділянці — від рівномірного (на мал. 6.2. схематично показано процес «стягування» елементів переміщення $\Delta \vec{s}$ в точку А, в якій визначають миттєву швидкість).



Мал. 6.2. Елементи переміщення $\overline{\Delta S}$ «стягують» у точку А.

Тоді миттєва швидкість у цій точці траєкторії дорівнює відношенню дуже малого переміщення $\Delta \vec{s}$ до дуже малого інтервалу часу Δt , за який це переміщення відбулося: $\vec{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$ за умови, що $\Delta t \rightarrow 0$.



Мал. 6.3. Шкала спідометра автомобіля — приладу для вимірювання модуля швидкості

Наочне уявлення про значення миттєвої швидкості автомобіля дає спідометр — прилад для вимірювання модуля швидкості (мал. 6.3).

Навіть за умови, що модуль швидкості тіла залишається незмінним, його швидкість — як векторна величина — змінюється, оскільки вона змінюється за напрямом. Візьміть це на замітку, бо згодом, ми побачимо, що будь-яка зміна швидкості тіла, зокрема за напрямом, зумовлена дією на це тіло інших тіл.

ПРИСКОРЕННЯ. Для обчислення швидкості нерівномірного прямолінійного руху тіла у будь-який момент часу потрібно знати, як швидко вона змінюється, або, інакше кажучи, як змінюється швидкість за одиницю часу.

Фізичною величиною, яка характеризує зміну швидкості з часом, є *прискорення*.

Прискоренням називається векторна фізична величина, яка дорівнює відношенню зміни швидкості до інтервалу часу, протягом якого ця зміна відбулася.

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

Нехай у загальному випадку руху тіла у момент часу t_0 воно рухалося зі швидкістю \vec{v}_0 , а в момент t — зі швидкістю \vec{v} . Тоді прискорення руху тіла a буде рівним:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t - t_0}.$$

Або, коли $t_0 = 0$:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}.$$

Оскільки зміна швидкості $\Delta \vec{v}$ — величина векторна, тому і прискорення \vec{a} — величина векторна. Напрямок вектора прискорення збігатиметься з напрямком вектора різниці швидкостей $\Delta \vec{v}$.

За одиницю прискорення у системі СІ прийнято брати прискорення такого рівнозмінного руху, під час якого швидкість руху тіла за кожну секунду змінюється на один метр за секунду:

$$[a] = \frac{1 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{1 \text{ с}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

У процесі руху швидкість тіла може збільшуватися або зменшуватися. Відповідно, рівнозмінний рух може бути рівноприскореним, коли швидкість тіла з часом зростає, а також рівносповільненим, коли швидкість тіла з часом зменшується. Проте у фізиці прийнято називати обидва рухи рівноприскореними (при цьому розуміють, що рівносповільнений рух це теж рух із прискоренням, але від'ємним).

Наприклад, коли автомобіль набирає швидкість, його прискорення спрямоване у той самий бік, що й вектор швидкості, а коли він гальмує, то його прискорення спрямоване протилежно до напрямку швидкості.

У фізиці термін «прискорення» стосується будь-якої зміни швидкості, зокрема, й тоді, коли швидкість змінюється тільки за напрямком. Тому з прискоренням рухається не тільки автомобіль, який розганяється або гальмує, а також і автомобіль, який рухається по колу зі сталою за модулем швидкістю. Швидкість

автомобіля змінюється за напрямом, а його прискорення спрямоване перпендикулярно до швидкості — по радіусу до центра кола.

Для вимірювання прискорення використовують спеціальні прилади — *акселерометри* різної конструкції. У природі та техніці тіла рухаються з різними прискореннями. Наприклад, прискорення електропоїзду становить $0,6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, вільного падіння тіла — $9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, ракети під час запуску супутника — $60 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, кулі у стволі автомата — $800 \frac{\text{км}}{\text{с}^2}$.

! Головне в цьому параграфі

Рівнозмінним називають такий рух, у якому за будь-які рівні інтервали часу швидкість змінюється однаково.

Середньою швидкістю проходження шляху називають скалярну величину, яка дорівнює відношенню пройденого шляху до інтервалу часу руху тіла.

Миттєвою швидкістю називають швидкість тіла у певний момент часу у певній точці траєкторії.

Прискоренням називається векторна фізична величина, яка дорівнює відношенню зміни швидкості до інтервалу часу, впродовж якого ця змі-

на відбулася $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$. Одиниця прискорення в СІ: $[a] = \frac{1 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{1 \text{ с}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

? Запитання для самоперевірки

1. Який рух називають рівнозмінним?
2. Сформулюйте визначення середньої швидкості.
3. Що називають миттєвою швидкістю? Як напрямлена миттєва швидкість?
4. Чи може миттєва швидкість бути більшою або меншою за середню?
5. Що таке прискорення? Одиниці вимірювання прискорення.
6. Як спрямовується прискорення відносно швидкості тіла? Наведіть приклади, які підтвердять вашу відповідь.

Вправа до § 6

- 1 (п). Що показує модуль вектора прискорення?
- 2 (п). За якої умови модуль вектора швидкості тіла, що рухається, збільшується? Зменшується?

- 3 (п).** Потяг починає гальмувати. Як спрямовані його прискорення і швидкість?
- 4 (с).** Автомобіль проїхав 60 км за 1 год, а потім ще 240 км за 3 год. Чому дорівнює середня швидкість на всьому шляху?
- 5 (с).** Автомобіль з місця починає рухатися рівноприскорено. Через 1 хв він розвиває швидкість $54 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. Визначити прискорення, з яким він рухався.
- 6 (с).** З яким прискоренням рухається автомобіль, якщо його швидкість за 1 хв змінилася з $9 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ до $54 \frac{\text{км}}{\text{год}}$?
- 7 (д).** Літак торкається посадочної смуги при швидкості $60 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ і зупиняється, пробігши 1,8 км. Чому дорівнює швидкість літака у момент, коли він пробіг по смугі 550 м?
- 8 (д).** Куля пробиває дошку товщиною 2 см. Швидкість кулі до влучання в дошку $500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ і $100 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ після вильоту з неї. Чому дорівнює прискорення кулі та час руху в дошці? Рух кулі в дошці вважати рівносповільненим.
- 9 (в).** Відстань між двома станціями поїзд пройшов з середньою швидкістю $72 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. Розгін і гальмування тривали 4 хв, а решту часу потяг рухався рівномірно зі швидкістю $80 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. Визначте час рівномірного руху поїзда?
- 10 (в).** Велосипедист їхав з одного міста до другого. Половину шляху він проїхав зі швидкістю $12 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. Далі половину часу руху, що залишився, він їхав зі швидкістю $6 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, а потім до кінця шляху йшов пішки зі швидкістю $4 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. Визначити середню швидкість руху велосипедиста на всьому шляху.

§ 7. Рівноприскорений прямолінійний рух

- ▶ Рівноприскорений прямолінійний рух
- ▶ Графіки залежності кінематичних величин рівноприскореного прямолінійного руху від часу

РІВНОПРИСКОРОЕНИЙ ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РУХ. Прикладом рівнозмінного руху тіла є рівноприскорений прямолінійний рух.

Його миттєву швидкість можна визначити з формули $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$, тобто:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t,$$

або

$$v_x = v_{0x} + a_x t.$$

Для обчислення переміщення підставимо вираз для миттєвої швидкості у формулу обчислення середньої швидкості $\vec{s} = \vec{v}_c t = \frac{\vec{v}_0 + \vec{v}}{2} t$.

Отримаємо рівняння рівноприскореного прямолінійного руху:

$$\vec{s} = \frac{\vec{v}_0 + \vec{v}_0 + \vec{a}t}{2} t \Rightarrow \vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}.$$

Ви вже знаєте, що для виконання обчислень векторні рівняння треба записувати у проекціях на обрані осі. У проекціях на вісь X рівняння для обчислення переміщення матиме такий вигляд:

$$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

За умови, коли початкова швидкість v_0 дорівнює 0, рівняння переміщення спрощується:

$$\vec{s} = \frac{\vec{a}t^2}{2},$$

або в проекціях на обрану вісь X :

$$s_x = \frac{a_x t^2}{2}.$$

Приклад розв'язування задачі на рівноприскорений прямолінійний рух

Задача. Розгін пасажирського літака під час злету тривав 25 с. На кінець злету літак мав швидкість 216 $\frac{\text{км}}{\text{год}}$. Визначити прискорення, з яким рухався літак.

Дано:

$v_0 = 0$

$v = 216 \frac{\text{км}}{\text{год}}$

$t = 25 \text{ с}$

 $a = ?$ **Розв'язання:**

Вважаємо, що літак рухався рівноприскорено.

$$\text{Тоді } a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t}$$

$$a = \frac{216000 \text{ м}}{3600 \text{ с}^2} = 60 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\text{Відповідь: } a = 60 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

ГРАФІКИ ЗАЛЕЖНОСТІ КІНЕМАТИЧНИХ ВЕЛИЧИН РІВНОПРИСКОРЕНОГО ПРЯМОЛІНІЙНОГО РУХУ ВІД ЧАСУ. Як було встановлено, формула $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$ виражає закон зміни швидкості рівнозмінного руху тіла і дає можливість визначати швидкість \vec{v} у будь-який момент часу t .

З неї видно, що миттєва швидкість прискореного руху лінійно залежить від часу t , а її графіком є пряма лінія.

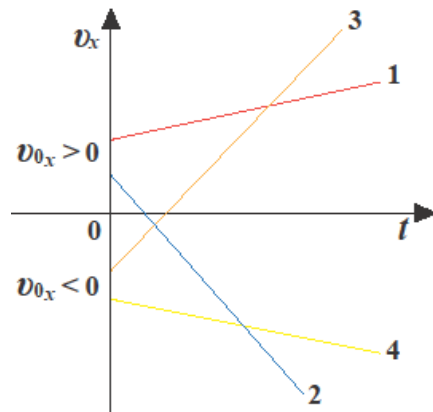
Графіки проекції швидкості рівноприскореного руху мають вигляд, показаний на малюнку (мал. 7.1). Прямі 1, 3 на цьому малюнку відповідають рухові з додатним прискоренням (швидкість зростає), пряма 2, 4 — рухові з від'ємним прискоренням.

Наведені графіки стосуються випадку, коли у момент часу $t = 0$ тіло мало початкову швидкість v_0 .

Графік проекції переміщення та координати. Проекція переміщення тіла на вісь X та координати тіла визначається відповідно за формулами $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$ і $x = x_0 + s_x$ тобто, $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$.

Отже, кінематичні рівняння переміщення та координати є квадратними рівняннями виду $y = a + bx + cx^2$. Тому графіками залежності проекції переміщення та координати від часу є параболи, гілки яких згідно з параметрами руху мають різний вигляд.

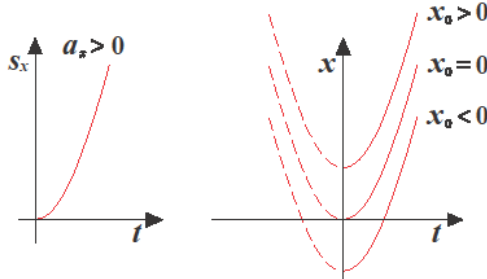
Зверніть увагу! Відмінністю графіків залежності переміщення та координати від часу є лише те, що вершина параболи графіка переміщення завжди знаходиться у точці з координатою $t = 0, s_x = 0$. Вершина параболи графіка коор-



Мал. 7.1. Графіки проекції швидкості рівноприскореного руху

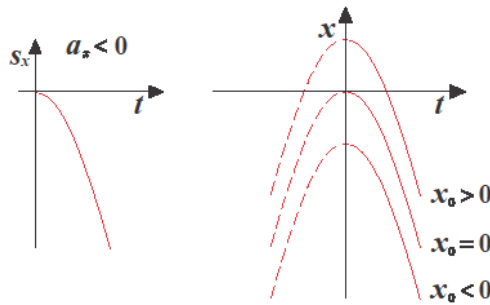
динати від часу завжди знаходиться у точці $t=0$, $x=x_0$, тобто, на осі X вище або нижче початку координат залежно від значення початкової координати x_0 .

Якщо $v_{0x}=0$ і $a_x>0$, то графіки мають вигляд, зображений на малюнку (мал. 7.2).



Мал. 7.2. Графік проекції переміщення і координати при $v_{0x} = 0$ і $a_x > 0$

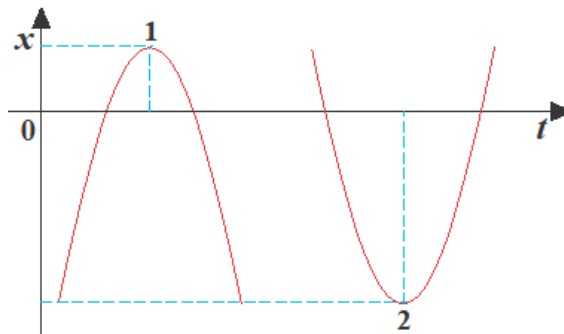
Якщо $v_{0x}=0$ і $a_x<0$, то гілки параболи зорієнтовані вниз (мал. 7.3).



Мал. 7.3. Графік проекції переміщення і координати при $v_{0x} = 0$ і $a_x < 0$

Якщо $v_{0x} \neq 0$ і $x_0 \neq 0$, то вершина параболи зміщується у точку, координати якої визначаються співвідношеннями: $x = x_0 - \frac{v_0^2}{2a}$,

$t = -\frac{v_0}{a}$ (мал. 7.4).



Мал. 7.4. Графік проекції переміщення і координати:

1. $v_{0x} > 0$, $a_x < 0$; 2. $v_{0x} < 0$, $a_x > 0$

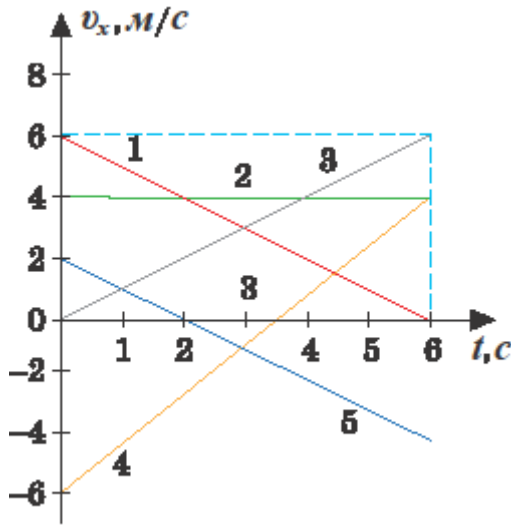
Приклад розв'язування графічної задачі на рівноприскорений прямолінійний рух

Задача. На малюнку (мал. 7.5) подано графіки швидкості руху п'яти тіл.

1) Охарактеризувати рух кожного тіла і записати для них залежності швидкості від часу.

2) Записати залежності проекцій переміщення на вісь X від часу.

3) Побудувати графіки залежності проекцій переміщення від часу для цих тіл.



Мал. 7.5.

Розв'язання

1) Тіло 1 за 6 с змінює свою швидкість від $6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ до 0; рухаю-

чись із прискоренням $a_1 = \frac{0 - 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{6} = -1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Рівняння швидкості:

$$v_1 = 6 - t.$$

Тіло 2 має початкову швидкість $v_{02} = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, протягом 6 с його швидкість не змінюється, тобто, рух рівномірний:

$$a_2 = 0; v_2 = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

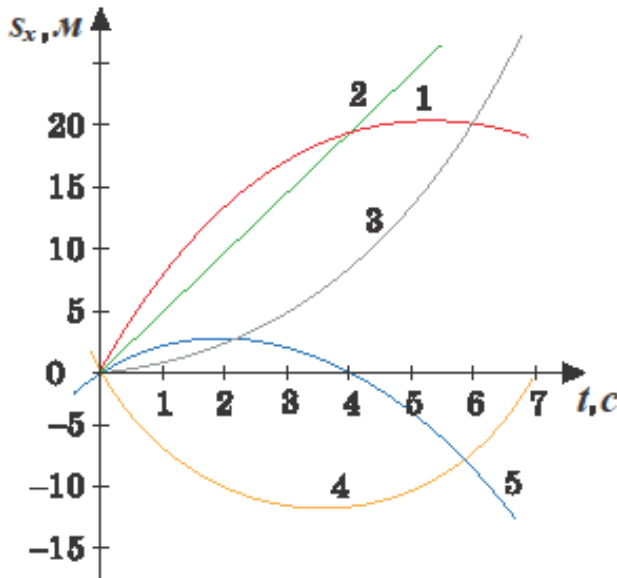
Тіло 3 має початкову швидкість $v_3 = 0$, яка через 6 с дорівнює $6 \frac{\text{М}}{\text{с}}$, отже, тіло рухається з прискоренням $a_3 = \frac{6 \frac{\text{М}}{\text{с}} - 0}{6} = 1 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$. Рівняння швидкості: $v_3 = t$.

Тіло 4 за 6 с змінює свою швидкість від $-6 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ до $4 \frac{\text{М}}{\text{с}}$. Отже, його прискорення $a_4 = \frac{4 \frac{\text{М}}{\text{с}} - (-6) \frac{\text{М}}{\text{с}}}{6} \approx 1,67 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$. Рівняння швидкості: $v_4 = -6 + 1,67t$.

Тіло 5 за 6 с змінює свою швидкість від $2 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ до $-4 \frac{\text{М}}{\text{с}}$. Прискорення $a_5 = \frac{-4 \frac{\text{М}}{\text{с}} - 2 \frac{\text{М}}{\text{с}}}{6} = -1 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$. Рівняння швидкості: $v_5 = 2 - t$.

2) Рівняння проекції переміщення у загальному випадку має вигляд $S_x = v_x t + \frac{a_x t^2}{2}$. Для кожного тіла відповідно: $S_{x1} = 6t - 0,5t^2$; $S_{x2} = 4t$; $S_{x3} = 0,5t^2$; $S_{x4} = -6t + 0,83t^2$; $S_{x5} = 2t - 0,5t^2$.

3) За визначеними рівняннями будуюмо графіки залежності проекції переміщення тіл від часу (мал. 7.6).



Мал. 7.6.

! Головне в цьому параграфі

Миттєва швидкість рівноприскореного прямолінійного руху визначається за формулою:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t \quad \text{або} \quad v_x = v_{0x} + a_x t.$$

Рівноприскорений прямолінійний рух описується рівнянням:

$$\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2} \quad \text{або} \quad s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Графіками залежності проекції переміщення та координати від часу є параболи, гілки яких згідно з параметрами руху мають різний вигляд.

? Запитання для самоперевірки

1. Який рух називають рівномірним, а який — рівноприскореним?
2. Як залежить проекція швидкості від часу прямолінійного рівноприскореного руху?
3. Як залежить проекція переміщення від часу прямолінійного рівноприскореного руху?
4. У яких випадках графік проекції швидкості рівнозмінного руху здійснюється вгору, а в яких він спадає? Що означає перетин графіком проекції швидкості вісі часу?

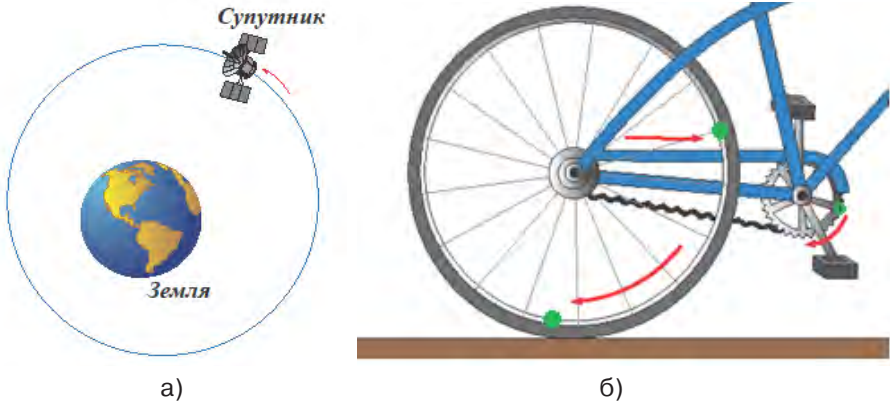
Вправа до § 7

- 1 (с). Залежність швидкості від часу у момент розгону автомобіля задано рівнянням $v = 0,8t$. Побудувати графік швидкості і визначити швидкість наприкінці п'ятої секунди.
- 2 (д). Швидкість потяга за 20 с зменшилася з 72 до $54 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. Написати формулу залежності швидкості від часу і побудувати графік цієї залежності.
- 3 (д). Рівняння руху матеріальної точки має вигляд: $x = 0,4t^2$. Написати залежність $v_x(t)$ і побудувати її графік. Заштрихувати на графіку площу, яка чисельно дорівнює шляху, пройденому точкою за 4 с, і обчислити цей шлях.
- 4 (д). Рухи матеріальних точок задано такими рівняннями: а) $x_1 = 10t + 0,4t^2$; б) $x_2 = 2t - t^2$; в) $x_3 = -4t + 2t^2$; г) $x_4 = -t - 6t^2$. Написати залежність $v = v(t)$ для кожного випадку; побудувати графіки цих залежностей; визначити вид руху у кожному випадку.

§ 8. Рівномірний рух по колу

- ▶ *Кутове переміщення. Кутова швидкість*
- ▶ *Період обертання. Частота обертання*
- ▶ *Лінійна швидкість руху тіла*
- ▶ *Доцентрове прискорення*

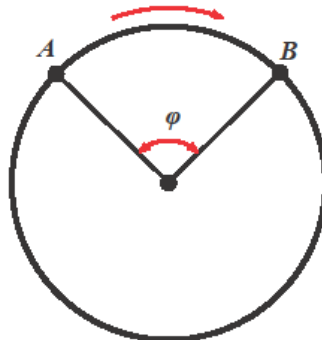
Одним із поширених рухів у природі та техніці є рух по колу. Прикладами руху тіла по колу є можуть слугувати рух планет навколо Сонця, рух Місяця навколо Землі та супутників по колових орбітах, (мал.8.1,а), рух будь-якої точки на тілі, що обертається (мал. 8.2, б).



Мал. 8.2. а) рух штучного супутника навколо Землі;
б) рух точок ободу колеса

Розглянемо найпростіший приклад такого руху — рівномірного руху по колу.

КУТОВЕ ПЕРЕМІЩЕННЯ, КУТОВА ШВИДКІСТЬ. Нехай матеріальна точка рівномірно рухається по колу радіуса R і у момент часу t знаходиться у точці А, а в момент часу t_2 зайняла положення В (мал. 8.3).



Мал. 8.3. Кутове переміщення φ

Радіус R , проведений з центра кола до матеріальної точки за час $\Delta t = t_2 - t_1$ описав кут $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ (грец. літера «фі»), що його називають *кутовим переміщенням*.

Кутове переміщення тіла у системі одиниць СІ виражають у *радіанах*. *Радіан* — це центральний кут між двома радіусами кола, довжина дуги між якими дорівнює радіусу. Його скорочене позначення — *1 рад*. Нагадаємо, що кут 360° складає 2π рад.

Для характеристики руху тіла по колу використовують поняття *кутової швидкості*.

Кутовою швидкістю називають фізичну величину, яка визначається відношенням кутового переміщення $\Delta\varphi$ до інтервалу часу Δt , впродовж якого це переміщення відбулося:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (\omega \text{ — читається — «омега»).$$

Кутова швидкість вимірюється у радіанах за секунду ($\frac{\text{рад}}{\text{с}}$).

$1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ дорівнює кутовій швидкості такого рівномірного руху по колу, під час якого за 1 секунду тіло здійснює кутове переміщення в 1 радіан.

Рух, під час якого матеріальна точка рухається по колу з незмінною кутовою швидкістю, називають *рівномірним рухом по колу*.

ПЕРІОД ОБЕРТАННЯ. ЧАСТОТА ОБЕРТАННЯ

Період і частота обертання — характеристики руху тіла по колу. Періодом обертання називають час, впродовж якого тіло здійснює один повний оберт по колу.

$$T = \frac{t}{N}, \text{ де } N \text{ — число повних обертів, зроблених за час } t.$$

Частотою обертання називають величину, обернену до періоду обертання тіла.

Частоту обертання прийнято позначати грецькою літерою n :

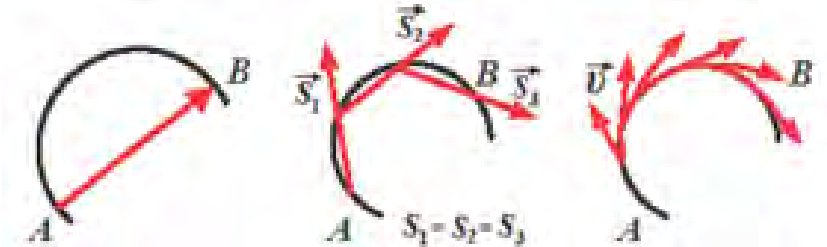
$$n = \frac{N}{t}.$$

За одиницю частоти в системі СІ прийнято 1 оберт за секунду: $1 \frac{\text{об}}{\text{с}}$ або 1 с^{-1} . Легко помітити, що період і частота — величини взаємно обернені: $n = \frac{1}{T}$ та $T = \frac{1}{n}$.

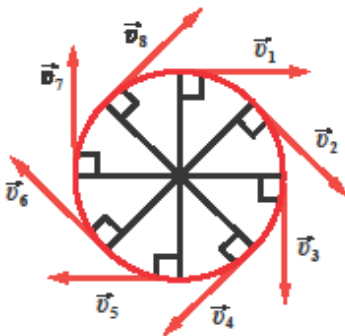
Кутове переміщення φ тіла за період T дорівнює 2π . Тому кутова швидкість буде $\omega = \frac{2\pi}{T}$, або, врахувавши, що $T = \frac{1}{n}$, одержимо: $\omega = 2\pi n$.

ЛІНІЙНА ШВИДКІСТЬ РУХУ ТІЛА. До руху тіла по колу застосовують і поняття швидкості, яке було введено для характеристики прямолінійного руху. У випадку руху тіла по колу цю швидкість називають *лінійною*.

Лінійна швидкість тіла, що рухається по колу, залишаючись незмінною (сталогою) за модулем, неперервно змінюється за напрямом і в будь-якій точці, спрямована по дотичній до траєкторії (мал. 8.4).



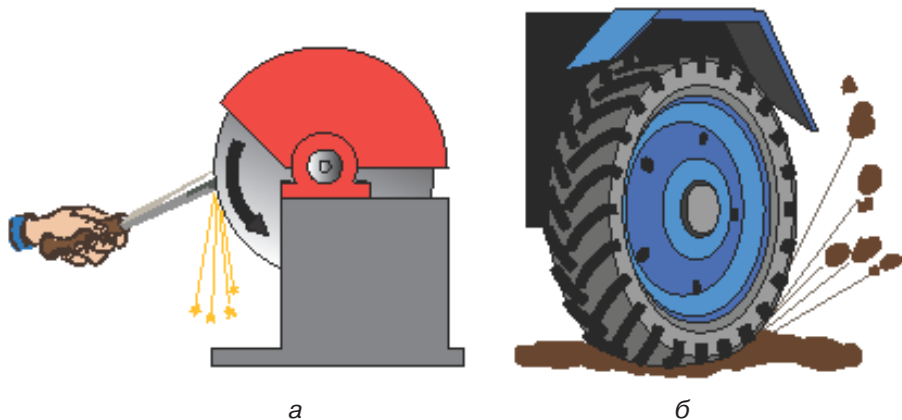
Мал. 8.4. Напрямок переміщення та швидкості криволінійного руху



Мал. 8.5. Миттєва швидкість в різних точках траєкторії при рівномірному по колу.

Таким чином, вектор швидкості завжди спрямований так само, як і вектор переміщення. Зокрема, швидкість матеріальної точки, яка рухається по колу, спрямована по дотичній до цього кола (мал. 8.5).

Це можна спостерігати, коли маленькі частинки відділяються від точильного диска, що обертається. Тоді вони летять по дотичній до диска, оскільки мають у момент відриву швидкість, що дорівнює швидкості точок на околі диска (мал. 8.6., а). Аналогічно шматки землі з-під коліс автомобіля летять по дотичній до обо-ду коліс (мал. 8.6, б).



Мал. 8.6.

- а) Частинки від точильного диска летять по дотичній до ободу диска,
 б) частинки землі — по дотичній до ободу коліс.

Оскільки модуль лінійної швидкості сталий, то його можна обчислити за формулою: $v = \frac{s}{t}$. За один оберт (тобто, коли $t = T$) тіло пройде відстань, яка дорівнює довжині кола: $S = 2\pi R$, де R — радіус кола. Звідси: $v = \frac{2\pi R}{T}$, або, враховуючи, що $T = \frac{1}{n}$, $v = 2\pi Rn$.

Знайдемо відношення лінійної швидкості v до кутової ω :
 $\frac{v}{\omega} = \frac{2\pi Rn}{2\pi n}$, звідки $v = \omega R$.

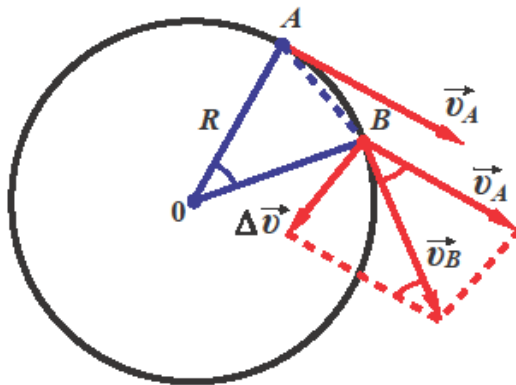
З формули (1) видно, що чим далі розміщена точка тіла від осі, тим більша її лінійна швидкість.

ДОЦЕНТРОВЕ ПРИСКОРЕННЯ. Під час рівномірного руху тіла по колу його лінійна швидкість, залишаючись незмінною за модулем, неперервно змінюється за напрямом. Зміна швидкості за напрямом свідчить про те, що і під час рівномірного руху тіла по колу є прискорення, яке зумовлює зміни напрямку швидкості. Це прискорення одержало назву *доцентрового*, оскільки воно спрямоване до центра кола. Як визначають його значення?

Скористаємось уже відомим вам способом визначення прискорення. За означенням, прискорення характеризує стрімкість зміни швидкості і дорівнює відношенню зміни швидкості до інтервалу часу, за який ця зміна відбулася: $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$, або в скалярній

формі $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$.

Нехай тіло, що рівномірно рухається по колу, у момент часу t знаходилось у точці А (мал. 8.7), а через дуже малий інтервал часу Δt перемістилось у дуже близько розміщену точку В.



Мал. 8.7. До визначення прискорення у криволінійному русі.

Швидкість у точці А позначимо v_A , а в точці В — v_B . Оскільки рух рівномірний, то модулі швидкості у цих точках рівні. Щоб знайти зміст швидкості за час Δt , віднімемо (за правилом трикутника) від вектора \vec{v}_B вектор:

$$\vec{v}_A - \vec{v}_B = \Delta \vec{v}.$$

Для цього перенесемо вектор \vec{v}_A у точку В зберігши його напрям; вектор $\overline{DC} = \Delta \vec{v}$ відповідає приросту швидкості Δv . За малий інтервал часу Δt точка А переміститься на $\Delta s = AB$, приблизно рівне дузі АВ. Зауважимо, що при малих кутах $\Delta \varphi$ дуга АВ співпадає з хордою АВ. Щоб визначити модуль прискорення a у цій довільно обраній точці А, розглянемо трикутники AOB та BDC . Вони подібні, оскільки обидва рівнобедрені і $\angle AOB = \angle BDC$ як кути з перпендикулярними сторонами. З подібності цих трикутників можна записати:

$$\frac{CD}{AB} = \frac{BD}{OB}, \text{ або } \frac{\Delta v}{\Delta s} = \frac{v_0}{R}.$$

Але $\Delta s \gg v \Delta t$; а $v_A = v_B = v$. Тому $\frac{v}{vt} = \frac{v}{R}$, звідки $\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v^2}{R}$; або

$$a = \frac{v^2}{R}.$$

Під час рівномірного руху тіла (матеріальної точки) по колу доцентрове прискорення, яке у будь-якій точці траєкторії перпендикулярне до лінійної швидкості і напрямлене до центра кола.

Приклад розв'язування задачі на рівномірний рух по колу

Задача 1. Час одного оберту Землі навколо осі дорівнює 24 год. Обчислити кутову та лінійну швидкості обертання на екваторі. Радіус Землі вважати рівним 6 400 км.

Дано:

$$R = 64 \cdot 10^5 \text{ м}$$

$$T = 86400 \text{ с}$$

$$\omega \text{ — ?}$$

$$v \text{ — ?}$$

Розв'язання:

Обертання Землі вважатимемо рівномірним. Тоді

$$v = \omega R, \text{ а } \omega = \frac{2\pi}{T}. \text{ Час } t \text{ виразимо в секундах:}$$

$$t = 3600 \cdot 24 = 86400 \text{ с.}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14}{86400 \text{ с}} = 0,00007 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$v = 0,00007 \text{ с}^{-1} \cdot 64 \cdot 10^5 \text{ м} = 448 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Відповідь: $\omega = 0,00007 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$; $v = 448 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

! Головне в цьому параграфі

Рівномірний рух по колу описується відповідними фізичними величинами: кутовим переміщенням φ , кутовою швидкістю ω , періодом T і частотою обертання n .

Лінійна швидкість тіла, що рівномірно рухається по колу, залишаючись незмінною (сталою) за модулем, неперервно змінюється за напрямом і в будь-якій точці спрямована по дотичній до траєкторії.

Зміна швидкості за напрямом свідчить про те, що і під час рівномірного руху тіла по колу є прискорення. Це прискорення одержало назву *доцентрового*, оскільки воно спрямоване до центра кола.

? Запитання для самоперевірки

1. Що таке кутове переміщення?
2. Дайте означення періоду і частоти обертання.
3. Напишіть формулу кутової швидкості та поясніть значення величин, що до неї входять.
4. Визначте кутову швидкість секундної стрілки годинника.
5. Чим відрізняються зміни швидкості під час прямолінійного та криволінійного руху?
6. Чи можна вважати рівномірний рух по колу рівноприскореним?
7. Якщо під час руху по колу змінюватиметься і модуль швидкості, то як це впливатиме на прискорення?

Вправа до § 8

- 1 (с). За який час колесо, що має кутову швидкість $4\pi \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, зробить 100 обертів?
- 2 (с). Якщо радіус колової орбіти штучного супутника Землі збільшити в 4 рази, то його період обертання збільшиться у 8 разів. У скільки разів зміниться швидкість руху супутника по орбіті?
- 3 (д). Хвилинна стрілка годинника у три рази довша від секундної. Обчислити співвідношення лінійних швидкостей кінців стрілок.
- 4 (д). Обчислити доцентрове прискорення точок колеса автомобіля, які дотикаються до дороги, якщо автомобіль рухається зі швидкістю $72 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ і при цьому частота обертання колеса становить 8 с^{-1} .
- 5 (д). Яке доцентрове прискорення потяга, що рухається по заокругленню радіусом 800 м зі швидкістю $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$?
- 6 (д). З якою швидкістю автомобіль повинен проїжджати середину опуклого моста радіусом 40 м, щоб доцентрове прискорення дорівнювало прискоренню вільного падіння?
- 7 (в). Дві матеріальні точки рухаються по колах радіусами R_1 і R_2 , причому $R_1 = 2R_2$. Порівняти їх доцентрові прискорення у випадках: а) коли їх лінійні швидкості однакові; б) коли їх періоди однакові.

ПРАКТИКУМ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ФІЗИЧНИХ ЗАДАЧ

Розв'язуючи фізичних задач здійснюється в декілька етапів: аналіз умови та її наочна інтерпретація у вигляді схеми, рисунка, графіка або креслення; складання рівнянь, що пов'язують фізичні величини, які кількісно характеризують досліджуване явище; розв'язування системи рівнянь відносно шуканої величини; аналіз вірогідності отриманого результату. Задачі, незалежно від способу подання даних, слід розв'язувати в загальному вигляді.

У процесі розв'язування фізичних задач із кінематики рекомендовано використовувати такий алгоритм:

1. Проаналізувати умову задачі та накреслити схему, на якій вказати траєкторію руху тіла, вектори швидкості і прискорення у визначені моменти та задані інтервали часу.
2. Вибрати систему відліку. Початок координат зручно розміщувати в початковій точці руху, а осі Ox і Oy (або одну з них, якщо рух прямолінійний) направляти вбік початкового руху тіл.
3. Відобразити координати рухомого тіла у визначені моменти часу й спроектувати вектори швидкостей і прискорень на осі Ox і Oy , які зручно направляти так, щоб з метою спрощення рівнянь якнайбільше проєкцій векторів були рівними нулю.
4. Встановити зв'язок між фізичними величинами, позначеними на схемі, з використанням кінематичних формул для координат і проєкцій швидкостей та записати додаткові умови задачі.

Вивчаючи рух тіл у системах, що рухаються рівномірно й прямолінійно відносно нерухомої системи відліку, обчислення можна здійснити так, ніби переносного руху не має (це впливає із принципу відносності руху).

Вивчаючи відносний рух двох або кількох тіл, систему відліку зручно пов'язувати з одним з них, приймаючи його за тіло відліку, і розглядати переміщення, швидкості й прискорення відносно нього.

Особливості розв'язування графічних задач. Першу групу графічних задач становлять такі, для яких надається графік залежності (від часу) кінематичних величин. Використовуючи їх, потрібно побудувати графіки залежності між будь-якими іншими величинами. Розв'язуючи такі задачі, потрібно:

1. Проаналізувати досліджуваний графік.
2. Встановити характер відображеного руху й представити дану залежність у вигляді рівняння.

3. Встановити шукану залежність і, дослідивши її, побудувати графік.

Другу групу становлять задачі, розв'язування яких передбачає відображення даних, заданих аналітично, на одному із графіків залежності кінематичних величин від часу. Якщо умову такої задачі подано графічно, її подальший розв'язок полягає в тому, щоб знайти шукану величину на побудованому графіку.

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Велосипедист виїхав з одного міста в інше. Першу половину шляху він проїхав із швидкістю $v_1 = 12 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. Другу — $v_2 = 6 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, а потім до місця призначення йшов пішки із швидкістю $v_3 = 4 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. Визначите середню швидкість велосипедиста на всьому шляху.

Дано:

$$v_1 = 12 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 3,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

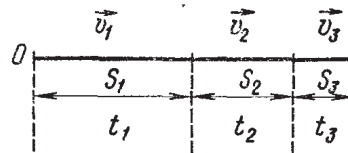
$$v_2 = 6 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 1,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v_3 = 4 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 1,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v_{\text{сеп}} = ?$$

Розв'язання:

Проаналізувавши умову задачі, можна зробити висновок, що це задача на рівномірний прямолінійний рух. Накреслимо схему руху тіла: (мал. 1)



Мал. 1.

Зобразимо траєкторію руху й вибираємо на ній початок відліку (точка O). Увесь шлях розіб'ємо на три відрізки S_1, S_2, S_3 , на кожному з них указуємо швидкості v_1, v_2, v_3 і відзначаємо час руху t_1, t_2, t_3 .

Складаємо рівняння руху для кожного відрізка шляху: $S_1 = v_1 t_1; S_2 = v_2 t_2; S_3 = v_3 t_3$ — і записуємо додаткові умови задачі: $S_1 = S_2 + S_3; t_2 = t_3; v_{\text{сеп}} = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{t_1 + t_2 + t_3}$. Випишемо числові значення

відомих величин і, визначивши число невідомих в отриманій системі рівнянь ($s_1; s_2; s_3; t_1; t_2; t_3$ і $v_{\text{сеп}}$), розв'язуємо її відносно шуканої величини $v_{\text{сеп}}$.

Під час розв'язку системи відносно середньої швидкості одержимо $v_{\text{сеп}} = \frac{2v_1(v_2 + v_3)}{2v_1 + v_2 + v_3}$. Підставивши числові значення в розра-

хункову формулу, одержимо: $v_{\text{сеп}} \approx 7 \frac{\text{км}}{\text{год}} \approx 1,9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Задача 2. Від буксира, що рухається проти течії річки, відірвався човен. У той момент, коли на буксирі помітили човен, він перебував від нього на відстані S_0 . З буксира швидко спустили катер, який доплив до човна й повернувся назад. Скільки часу зайняла поїздка і яку відстань він подолав в одну й іншу сторону, якщо швидкості катера й буксира відносно води становлять відповідно v_1 і v_2 ?

Дано:

S_0, v_1, v_2

t — ?

Розв'язання:

Проаналізувавши умову, побачимо, що це задача на рівномірний рух одного тіла відносно іншого, причому кожне з них бере

участь у складному русі — рухається відносно води й разом з водою відносно берега. Визначимо тіла, що беруть участь у русі: човен, буксир і катер, мають швидкості відносно води й переносну разом з нею.

У запропонованій задачі систему відліку зручно пов'язати з буксиром, тому що всі події, що відбуваються, розглядаються відносно нього. У системі відліку, пов'язаній з буксиром, буксир перебуває у стані спокою, човен віддаляється від нього із швидкістю v_2 , а катер від буксира — із швидкістю $v_1 + v_2$, а разом із човном наближається до нього із швидкістю $v_1 - v_2$.

Припустимо, що за час t_1 , через який катер наздожене човен, буксир віддалиться від човна на відстань S_1 , тоді рівняння руху для катера й човна за цей час має вигляд: $S_0 + S_1 = (v_1 + v_2)t_1$ (1) і $S_1 = v_2 t_1$ (2). Якщо для повернення на буксир катеру треба було час t_2 , то рівняння його руху має вигляд: $S_0 + S_1 = (v_1 - v_2)t_2$ (3). Шуканий час руху катера буде дорівнювати $t_1 + t_2$ (4). За цей час катер проходить відстань $S = 2(S_0 + S_1)$ (5).

Отже, отримано п'ять рівнянь, що містять п'ять невідомих величин (S_0, S_1, t_1, t_2, t), з яких потрібно визначити тривалість руху катера t і пройдений шлях S . Розв'язуючи рівняння, знахо-

димо $t = \frac{2s_0}{v_1 - v_2}$; $s = 2s_0 \left(1 + \frac{v_2}{v_1} \right)$.

Якщо вибрати систему відліку, що рухається разом з водою або пов'язану із Землею, розв'язання задачі буде складнішим.

Задача 3. Визначте доцентрове прискорення точок земної поверхні на екваторі, на широті 45° і на полюсі, викликане добовим обертанням Землі.

Дано:

$$T = 24 \text{ год} = 8,64 \cdot 10^4 \text{ с}$$

$$\varphi_1 = 0 \text{ рад}$$

$$\varphi_2 = 45^\circ = 0,79 \text{ рад}$$

$$\varphi_3 = 1,57 \text{ рад}$$

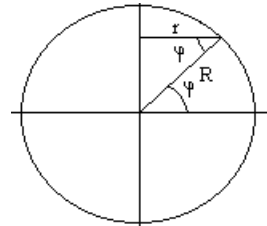
$$a_{д1}, a_{д2}, a_{д3} \text{ — ?}$$

Розв'язання:

Усі точки земної поверхні беруть участь в добовому обертанні Землі з кутовою швидкістю $\omega = \frac{2\pi}{T}$ (1); отже, мають доцентрове прискорення $a_{д} = \omega^2 r$ (2),

де $r = R \cos \varphi$ — радіус кола, по якому рухається точка, φ — широта місця, R — радіус Землі (мал.).

Із рівностей (1) і (2) одержимо $a_{д} = \frac{4\pi^2}{T^2} R \cos \varphi$, звідки прискорення точок на екваторі, на широті 45° і на полюсі відповідно дорівнюють:



$$a_{д1} = \frac{4\pi^2}{T^2} R = \frac{4 \cdot 3,14^2}{8,64^2 \cdot 10^8} \approx 3,4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

($\cos \varphi_1 = 1$);

$$a_{д2} = a_{д1} \cos \varphi_2 \approx 3,4 \cdot 10^{-2} \cdot 0,7 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \approx 2,4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}^2};$$

$$a_{д3} = 0, \text{ тому що } \cos \varphi_3 = \cos \frac{\pi}{2} = 0.$$

Відповідь: $a_{д1} = 3,4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, $a_{д2} = 2,4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, $a_{д3} = 0$.

Задача 4. Автомобіль розпочинає рух із стану спокою й долає перший кілометр із прискоренням a_1 , а другий — a_2 . На першому кілометрі його швидкість зростає на $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а на другому — $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Порівняйте прискорення автомобіля на кожній ділянці шляху.