

Богдан Самелюк

Роман Лучицький

ФІЗИКА

(посібник)

*Для учнів старших класів середніх навчальних
закладів, слухачів підготовчих курсів (відділень)
вищих навчальних закладів і абітурієнтів*

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки
України для учнів загальноосвітніх навчальних
закладів*

(Лист №1/11 – 2843 від 21.06.2001р.)

Івано-Франківськ
2005

УДК – 53(076)
ББК 22.3

Самелюк Б.Ю., Лучицький Р.М. Фізика:

Навч. посібник. - Івано-Франківськ: Факел, 2005. - 415 с.

В посібнику коротко, в доступній для випускника формі, подані відповіді на питання програми з фізики для вступних випробувань. Ті питання програми, які недостатньо висвітлені в шкільних підручниках та наявній літературі, в даному посібнику розглядаються більш детально.

Кожний розділ закінчується запитаннями для самоперевірки, прикладами розв'язків задач різних рівнів складності і тривіневним блоком задач для самостійного розв'язування. В кінці посібника подані розв'язки задач узагальнюючого характеру і такого ж типу задачі для самостійного розв'язування.

Посібник розрахований на учнів старших класів середніх навчальних закладів, слухачів підготовчих відділень вищих навчальних закладів, вчителів та викладачів.

Гриф надано Міністерством освіти і науки України

Лист № 1/11 від 21.06.2001

Відповідальний редактор:
канд. фіз.-мат. наук, Михайло Бігун

ISBN 966-7327-41-8

Пам'яті товариша



Богдан Самелюк, син Юліана Самелюка із Рошнева Тисменицького району, що на Івано-Франківщині, народився 19 травня 1932 року. Беручий до науки хлопець пішки ходив до гімназії в Станіславі (нині Івано-Франківськ). Завзятість та наполегливість до навчання допомогли талановитому хлопцеві із села самотужки пройти шлях від учня Станіславської гімназії до студента факультету фізики

Прикарпатського університету. На протязі п'ятнадцяти років вчителювання в сільських школах Прикарпаття проявилися його найкращі якості вчителя.

Талант до викладацької роботи та нерозкритий потенціал науковця не міг бути не поміченим. В 1970 році Б.Самелюка запрошують на кафедру фізики в Івано-Франківську медакадемію, а з 1982 році він працює в Національному технічному університеті нафти і газу.

Паралельно з викладацькою роботою займався і наукою, плодами якої стали численні наукові праці з біофізики, захист дисертації, присвоєння вченої ступіні кандидата біологічних наук, доцента. Ще багато було заплановано, ще багато хотілось зробити, але довготривала і виснажлива хвороба перешкодила цьому.

Життєва і професійні долі випали йому надзвичайно круті та бурхливі.

На протязі всього життя рушійною силою його починань була любов до України, до людей. Всіх сил докладав, щоб передати свої знання, світосприймання дітям, щоб його учні в майбутньому формували цвіт української нації, стали ядром українського суспільства, його послідовниками в передачі знань і вмінь наступним поколінням.

Тому і з'явився задум написання книги - посібника з фізики. Даний підручник є плодом викладацького і наукового досвіду людини, яка присвятила все життя навчанню дітей. Він часто говорив, яким повинен бути справжній підручник: "Максимально доступно і нічого лишнього!"

Богдан Самелюк був винятково чесною і порядною людиною. Один із небагатьох інтелігентів, які не запродали себе страшній системі, який не йшов на компроміси із совістю. Мав практично завершену докторську дисертацію, але змушений був піти з Івано-Франківського медінституту. Не був слухняним...

Ось що про нього говорять люди, які його тривалий час знали і співпрацювали з ним.

Алла Ключкова, широко відома як вчителька, чиї учні неодноразово ставали переможцями фізичних олімпіад різних рівнів, в тому числі і міжнародних:

"З автором цієї книги доля звела мене ще у студентські роки. Це була надзвичайна людина, яка наповнювала собою весь простір теплом і світлом.

І що дивно - всупереч всім законам фізики, ця його енергія була невичерпною. Здавалось у нього один орган – одне Велике Серце, наповнене світовою скорботою.

З особливим хвилюванням він думав про долю своєї Вітчизни. Людина винятково чесна, з природньою інтелігентністю, він ніколи не міг примиритись з несправедливістю. Він любив природу, а, значить, фізику, і дуже хотів передати (привити) цю любов дітям. І любов ця відчувається на кожній сторінці, в кожному рядочку. Книга доступна для всіх – і тих, хто дивується, дивлячись на світ, який нас оточує, і намагається вияснити, чому світ так побудований, і для тих, хто багато питань вже для себе вияснив і бажає поглибити своє пізнання, підняти до більш високих вершин.

Ідея написати таку книгу зародилась в нього не випадково. Він ставив собі питання, які хвилюють усіх. Що можна зробити для оновлення нашого суспільства? Як піднести на більш високий рівень освіту в державі? Було ясно: країна не збідніла на таланти, і ці таланти треба підтримувати і розвивати.

Книга написана людиною, яка добре розуміла особливості сучасних учнів, абітурієнтів. Вона допомагає слабшим учням і враховує вимоги та самостійність здібних. Спосіб викладу традиційного матеріалу допомагає не формально засвоїти фізичні закони, а розуміти їх зміст і уміти застосовувати їх на практиці. Автори вчать “відчувати” перебіг фізичних процесів, спираючись на строгі теоретичні роздуми і на набутий життєвий досвід. Матеріал викладено наочно, живо і в той же час глибоко науково.

Він завжди намагався знайти незвичайне, дивне у простих здавалось би явищах, дбайливо, ніжно і з хвилюванням відносився до всього, що робив, і цьому намагався навчити молоде покоління.”

Володимир Омеляненко, доцент Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу: “Богдан Юліанович – вчитель від Бога. Він тривалий час працював у школі і, навіть працюючи в інституті, завжди пам’ятав про школярів. Неодноразово був головою журі обласних олімпіад з фізики. Його мрією було залишити працю, яка була б корисна школярам. І він залишив її, написавши посібник, який допоможе школяреві стати студентом.”

Так, Богдан Самелюк дуже хотів залишити у спадок молодим людям частинку себе у вигляді інтелектуального доробку. Ми мали в планах і вже розпочали були роботу над ще кількома книгами – уже для студентів. Але важка хвороба передчасно погасила факел його життя. 16 вересня 2001 року не стало Фізика, Вчителя і просто Людини. Але свою благородну роботу він не перестав робити – ця книга, надіюсь, буде корисною для тих, хто прагне вищого і вічного. Хай щастить Вам у цьому, шановні користувачі книги!

З повагою

Роман Лучицький

З М І С Т

Передмова	10
Вступ	12
РОЗДІЛ I Фізичні величини і одиниці вимірювання	14
1.1 Основні фізичні величини 14. 1.2 Похідні фізичні величини 13. 1.3 Позначення фізичних величин 14. 1.4 Розмірність фізичних величин 15. 1.5 Скалярні фізичні величини 16. 1.6 Векторні величини 17. 1.7 Міжнародна система одиниць (SI) 18.	
РОЗДІЛ II Механіка	21
2.1 Основи кінематики 21. 2.1.1 Механічний рух 22. 2.1.2 Траєкторія і шлях 22. 2.1.4 Переміщення 24. 2.1.5 Швидкість 25. 2.1.6 Прискорення 26. 2.1.7 Рівномірний поступальний рух тіла та графіки залежності переміщення (шляху) і швидкості від часу 26. 2.1.8 Рівнозмінний прямолінійний поступальний рух та графіки залежності переміщення (шляху), швидкості і прискорення від часу 29. 2.1.9 Відносність руху. Додавання швидкостей (перетворення Галілея) 32. 2.1.10 Вільне падіння тіл. Прискорення вільного падіння 35. 2.1.11 Рух тіла, кинутого горизонтально 36. 2.1.12 Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту 36. 2.1.13 Рівномірний рух тіла по колу. Період і частота. Кутова і лінійна швидкості 38. 2.1.14 Доцентрове прискорення 40. 2.1.15 Запитання для самоперевірки 41. 2.1.15 Запитання для самоперевірки 41. 2.1.16 Приклади розв'язування задач з кінематики 42. 2.1.17 Задачі для самостійних вправ 48.	
2.2 Основи динаміки. Закони збереження в механіці	54
2.2.2 Маса тіла 55. 2.2.3 Сила. Рівнодійна сила 55. 2.2.4 Другий закон Ньютона 56. 2.2.6 Сила тяжіння. Вага тіла. Закон всесвітнього тяжіння 57. 2.2.7 Невагомість 60. 2.2.8 Перша космічна швидкість. Рух штучних супутників Землі 61. 2.2.9 Сила пружності. Закон Гука 62. 2.2.10 Сила тертя. Коефіцієнт тертя ковзання 63. 2.2.11 Поняття про сили інерції 65. 2.2.12 Архімедова сила. Гідростатичне зважування 65. Умови плавання 2.2.13 Момент сили. Умова рівноваги важеля 67. 2.2.14 Кількість руху (імпульс). Закон збереження імпульсу 69. 2.2.15 Реактивний рух 71. 2.2.16 Механічна робота 72. 2.2.17 Потужність 73. 2.2.18 кінетична енергія 73. 2.2.19 Потенціальна енергія 74. 2.2.21 Запитання для самоперевірки 76. 2.2.22 Приклади розв'язування задач з динаміки 77. 2.2.23 Задачі для самостійних вправ 79.	
РОЗДІЛ III Молекулярна фізика і термодинаміка	88
3.1 Основні положення молекулярно-кінетичної теорії будови речовини 89. 3.2 Маса і розміри молекул. Стала Авогадро 91. 3.3 Ідеальний газ 92. 3.4 Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії газів 93. 3.5 Рівняння стану ідеального газу (рівняння Клапейрона-Менделєєва). Ізотермічний, ізохорний та ізобарний	

процеси 95. 3.6 Температура та способи її вимірювання. Абсолютна температурна шкала 99. 3.7 Випаровування і конденсація. Насичена і ненасичена пара. Кипіння. Залежність температури кипіння рідини від тиску. Питома теплота пароутворення 101. 3.8 Вологість повітря. Вимірювання вологості за допомогою психрометра 103. 3.9 Поверхневий натяг рідини. Сила поверхневого натягу. Змочування. Капілярні явища 105. 3.10 Кристалічні та аморфні тіла. Плавлення твердих тіл. Питома теплота плавлення. Механічні властивості твердих тіл. Пружні деформації. Модуль Юнга 107. 3.11 Внутрішня енергія тіла і способи її зміни. Перший закон термодинаміки. Робота в термодинаміці. Кількість теплоти. Питома теплоємність речовини. Адіабатний процес 110. 3.12 Необоротність теплових процесів (циклів) 114. 3.13 Принцип дії теплових двигунів. Коефіцієнт корисної дії теплових двигунів і його максимальне значення 115. 3.14 Запитання для самоперевірки 118. 3.15 Приклади розв'язування задач з динаміки 120. 3.16 Задачі для самостійних вправ 134.

РОЗДІЛ IV Електростатика. 142

4.1 Електричний заряд. Закон збереження електричного заряду. Взаємодія заряджених тіл. Закон Кулона 142. 4.2 Електричне поле. Напруженість електричного поля. Принцип суперпозиції полів 143. 4.3 Провідники в електричному полі 146. 4.4 Діелектрики в електричному полі. Діелектрична проникність речовини 146. 4.5 Робота електричного поля під час переміщення електричного заряду. Потенціал і різниця потенціалів. Напруга. Зв'язок напруженості електричного поля з напругою 149. 4.6 Електроємність. Конденсатор 153. 4.7 Енергія електричного поля 155. 4.8 Запитання для самоперевірки 155. 4.9 Приклади розв'язування задач з динаміки 156. 4.10 Задачі для самостійних вправ 160.

РОЗДІЛ V Електричний струм. 166

5.1 Електричний струм у провідниках. Електронна Провідність металів. Сила струму 166. 5.2 Закон Ома для однорідної ділянки кола. Опір провідників. Послідовне і паралельне з'єднання провідників 168. 5.3 Електрорушійна сила джерела струму. Закон Ома для повного кола. Робота і потужність електричного струму 171. 5.4 Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів. Закон електролізу. Стала Фарадея 174. 5.5 Електричний струм у газах. Самостійний і несамостійний розряди. Поняття про плазму 176. 5.6 Електричний струм у вакуумі. Термоелектронна емісія. Діод 178. 5.7 Електронно-променева трубка 180. 5.8 Напівпровідники. Власна і домішкова провідність напівпровідників. Залежність електропровідності напівпровідників

від температури і освітленості 181. 5.9 Напівпровідниковий діод і тріод (транзистор). Використання напівпровідникових приладів в електронній техніці 184. 5.10 Запитання для самоперевірки 188. 5.11 Приклади розв'язування задач з динаміки 188. 5.12 Задачі для самостійних вправ 189

РОЗДІЛ VI Магнітне поле. 203

6.1 Індукція магнітного поля 203. 6.2 Сила, що діє на провідник зі струмом у магнітному полі. Закон Ампера. Взаємодія струмів 206. 6.3 Сила Лоренца 207. 6.4 Магнітні властивості речовин. Магнітна проникність. Феромагнетики 208. 6.5 Магнітний потік 211. 6.6 Електромагнітна індукція. Закон електромагнітної індукції. Правило Ленца 212. 6.7 Самоіндукція. Індуктивність. Енергія магнітного поля 215. 6.8 Запитання для самоперевірки 217. 6.9 Приклади розв'язування задач 217. 6.10 Задачі для самостійних вправ 221.

РОЗДІЛ VII Коливання і хвилі 225

7.1 **Механічні коливання** 225. 7.1.1 Гармонічні коливання. Зміщення, амплітуда, період, частота, фаза коливань 225. 7.1.2 Вільні і вимушені коливання 226. 7.1.3 Перетворення енергії під час гармонічних коливань 228. 7.1.4 Математичний маятник. Період коливань математичного маятника 228. 7.1.5 Пружинний маятник. Частота коливань вантажу на пружині 230. 7.1.6 Поширення механічних коливань у пружному середовищі. Поперечні і поздовжні хвилі. Зв'язок довжини хвилі з швидкістю поширення 230. 7.1.7 Звукові хвилі. Швидкість поширення звуку. Гучність та висота тону. Інфра- та ультразвук. Екологічні проблеми акустики 232. 7.1.8 Запитання для самоперевірки 234. 7.1.9 Приклади розв'язування задач 234. 7.1.10 Задачі для самостійних вправ 238. 7.2 **Електромагнітні коливання** 241. 7.2.1 Вільні електромагнітні коливання в коливальному контурі. Перетворення енергії в коливальному контурі. Власна частота коливань в контурі 241. 7.2.2 Автоколивання 244. 7.2.3 Вимушені електричні коливання. Резонанс 246. 7.2.4 Змінний електричний струм. Генератор змінного струму 248. 7.2.5 Резонанс у колах змінного струму 252. 7.2.6 Трансформатор 257. 7.2.7 Електромагнітні хвилі та швидкість їх поширення. Властивості електромагнітних хвиль 258. 7.2.8 Випромінювання і приймання електромагнітних хвиль. Принцип радіозв'язку. Найпростіший радіоприймач 260. 7.2.9 Шкала електромагнітних хвиль 262. 7.2.10 Запитання для самоперевірки 264. 7.2.11 Приклади розв'язування задач 264. 7.2.12 Задачі для самостійних вправ 266.

РОЗДІЛ VIII Елементи теорії відносності 270

8.1 Принцип відносності А.Ейнштейна. Швидкість світла у вакуумі як гранична швидкість передачі сигналу...270. 8.2 Релятивістська

динаміка. Зв'язок між масою та енергією 272. 8.3 Запитання для самоперевірки 273. 8.4 Приклади розв'язування задач 274. 8.52 Задачі для самостійних вправ 275.

РОЗДІЛ IX Оптика. 277

9.1 Прямолінійне поширення світла. Швидкість світла та її вимірювання 277. 9.2 Закони відбивання світла. Побудова зображень у плоскому дзеркалі 278. 9.3 Закони заломлення світла. Абсолютний і відносний показники заломлення світла 279. 9.4 Дисперсія світла 281. 9.5 Лінза. Оптична сила лінзи. Побудова зображень у лінзах 281. 9.6 Інтерференція світла 288. 9.7 Дифракція світла. Дифракційна ґратка 291. 9.8 Вимірювання довжини світлової хвилі за допомогою дифракційної ґратки 294. 9.9 Запитання для самоперевірки 295. 9.10 Приклади розв'язування задач 296. 9.11 Задачі для самостійних вправ 302.

РОЗДІЛ X Світлові кванти. Енергія та імпульс фотона 307

10.1 Фотоефект і його закони. Рівняння А.Ейнштейна для фотоефекту 308. 10.2 Застосування фотоефекту в техніці 308. 10.3 Запитання для самоперевірки 309. 10.4 Приклади розв'язування задач 309. 10.5 Задачі для самостійного розв'язування 311.

РОЗДІЛ XI Атом та атомне ядро. 313

11.1 Ядерна модель атома. Квантові постулати Н.Бора. Випромінювання і поглинання енергії атомом 313. 11.2 Неперервний та лінійчатий спектри. Спектральний аналіз 315. 11.3 Лазер 316. 11.4 Радіоактивність. Альфа-, бета- і гамма-випромінювання 319. 11.5 Методи реєстрації іонізуючих випромінювань 320. 11.6 Біологічна дія радіоактивного випромінювання та захист від нього 321. 11.7 Склад ядра атома. Ізотопи 322. 11.8 Енергія зв'язку атомних ядер 323. 11.9 Ядерні реакції. Енергетичний вихід ядерної реакції 324. 11.10 Поділ ядер урану 324. 11.11 Ядерний реактор 325. 11.12 Термоядерна реакція 327. 11.13 Запитання для самоперевірки 328. 11.14 Приклади розв'язування задач 328. 11.15 Задачі для самостійного розв'язування 329.

РОЗДІЛ XII Приклади розв'язування задач 332

12.1 Механіка 332. 12.2 Молекулярна фізика і теплота 348. 12.3 Властивості рідин і твердих тіл 352. 12.4 Електрика і магнетизм 356. 12.5 Коливання і хвилі 372. 12.6 Оптика 377. 12.7 Будова атома 386.

РОЗДІЛ XIII Задачі узагальнюючого характеру для самостійних вправ. 390

Алфавітний предметний покажчик. 398

Додаток. 402

*Юнакам і юнкам, які сьогодні покликані
реалізувати мрії та сподівання своїх
попередників – гімназистів та учнів,
які віддали своє юне життя в боротьбі
за волю України, – присвячуємо.*

Автори

Передмова

Результати аналізу учнівських робіт, написаних на олімпіадах з фізики, відповідей абітурієнтів під час складання вступних іспитів та письмових контрольних робіт, що проводяться на перших заняттях з фізики у вузах, дають можливість констатувати, що значна частина молодих людей недостатньо орієнтується в основних поняттях і законах фізики і неглибоко розуміє суть фундаментальних дослідів, принципів та ідей, покладених в основу фізичних теорій.

І учні, і абітурієнти, і студенти-першокурсники не мають достатніх навиків застосування набутих знань з фізики для пояснення перебігу фізичних явищ і процесів, тлумачення змісту фізичних понять і величин, особливо під час розв'язування задач.

Однією із причин такого стану у фізичній освіті є, на нашу думку, відсутність достатньої кількості посібників, за допомогою яких учні чи абітурієнти могли б одержати короткі, в доступній для них формі, відповіді на питання програми для вступників у вузи України і набути певних навиків в засвоюванні фізичних понять і законів, розв'язуючи задачі.

Виходячи із сказаного, ми, приступаючи до написання цього посібника, поставили перед собою завдання: коротко, в доступній для випускника школи формі, дати відповіді на питання програми з фізики для вступних випробувань, дати можливість користувачу посібником перевірити свої знання з фізики, відповідаючи на запитання, якими закінчується кожний розділ, показати схеми розв'язування задач різного рівня складності і дати можливість самостійно перевірити свої вміння і навики, розв'язуючи спеціально підібрані до кожної теми задачі.

Наскільки ми виконали це завдання, судити користувачам цього посібника.

Зверніть увагу на те, що посібник закінчується розв'язанням задач узагальнюючого характеру. Аналізуючи ці розв'язки, користувач має можливість набути певні навички в розв'язуванні задач, зміст яких охоплює фізичні явища і закони різних розділів фізики, а це дає йому можливість пов'язати окремі питання фізики між собою і більш глибоко усвідомити єдність законів природи.

Висловлюємо щиру подяку рецензентам: професору Київського національного університету ім.Т.Шевченка доктору фізико-математичних наук В.М.Яцуку; кандидату фізико-математичних наук, доценту кафедри фізики Прикарпатського університету ім.В.Стефаника Л.Шараневичу; кандидату фізико-математичних наук, вчителю вищої категорії Київського ліцею №208 В.П.Сугоняку; а особливо завідувачеві кафедри природничих наук Національного університету “Києво-Могилянська академія” професору П.І.Голоду, за цінні зауваження і рекомендації щодо написання посібника.

Для складання посібника використані авторські задачі, а також збірники задач з фізики А.П.Римкевича, В.П.Демковича та ін.

ВСТУП

Фізика – природнича наука, яка вивчає види, форми існування, глибинну структуру, фундаментальні взаємодії і основні закони найзагальніших форм руху матерії. Фізика вивчає будову і властивості речовини в різних станах та фізичні поля, єдність і перетворення видів матерії. За об'єктами вивчення фізика поділяється на механіку, молекулярну фізику, електродинаміку, оптику, атомну і ядерну фізику, фізику твердого тіла, фізику елементарних частинок (суб'ядерна фізика). За методами дослідження – на експериментальну і теоретичну фізику. Експеримент – джерело фактичних знань, критерій істинності теоретичних тлумачень і узагальнень. Теорія формулює закони, гіпотези, ставить пізнавальні цілі перед експериментальною фізикою.

На стиках фізики з іншими природничими науками виникли окремі науки: геофізика, фізична хімія, біофізика, астрофізика, космонавтика. Фізика – наукова основа техніки.

Ідеї, принципи, концепції фізики на конкретних ступенях її розвитку формували наукову картину світу на відповідних етапах людської цивілізації. Першою такою картиною була механістична, пов'язана з успіхами механіки, з об'єднаним описом різних механічних рухів макротіл. Її творцями були Г.Галілей, І.Ньютон, Х.Гюйгенс, П.Лаплас, Ж.Лагранж, У.Гамільтон, Л.Ейлер та ін. Друга картина з'явилась після робіт Дж.Максвелла, які розширювали зв'язок електричних, магнітних і оптичних явищ, їх специфіку і незведення до механістичного механізму. Це був великий крок в пізнанні фізичних полів.

Револьюційну зміну в поглядах на простір, час, тяжіння принесло створення спеціальної, а згодом загальної теорії відносності А.Ейнштейном.

Сучасна фізика пов'язана з другою революцією в фізиці, що виникла на ґрунті вивчення мікросвіту і відкриття квантових явищ. Її підґрунтям стали роботи М. Планка (теплове випромінювання); А.Ейнштейна (квантова оптика), Е.Резерфорда, Н.Бора (будова атома), Л. де Бройля (корпускулярно-хвильовий дуалізм), В.Гейзенберга, М.Борна, Е.Шредінгера, П.Дірака, В.Паулі (створення квантової механіки).

Подальший етап в розвитку сучасної фізики пов'язаний з вивченням атомного ядра і створенням ядерної енергетики (Дж.Чедвік, Е.Фермі, О.Ган, Ю.Оппенгеймер і ін.).

У суб'ядерній фізиці, що виступила на передній край фізичних досліджень в ХХ ст., також виділяються свої етапи: розкриття будови атома і атомного ядра (1898-1933 рр.); відкриття великої кількості елементарних частинок (30-50-і рр.); створення теорії електромагнітної взаємодії (50-і рр., Р.Фейнман, Ю.Швінгер); створення теорії електрослабкої взаємодії (С.Вайнберг, Ш.Глешоу, А.Салам, 1967-1968 рр.).

На сьогодні відомі такі провідні концепції сучасної фізики: корпускулярно-хвильовий дуалізм матерії, відповідність між полями і частинками, загальна перетворюваність частинок, існування чотирьох фундаментальних взаємодій, польовий характер цих взаємодій, концепції можливого об'єднання всіх взаємодій в рамках однієї взаємодії.

Незважаючи на величезні успіхи фізики в пізнанні природи, сучасна фізика має свої труднощі і проблеми. Основні з них: створення теорії великого об'єднання всіх фізичних взаємодій; розшифрування спектра мас елементарних частинок; проблема чорних дір; межа подільності матерії і ін..

До прикладних проблем фізики належать: керований термоядерний синтез; проблеми нелінійної оптики; пряме перетворення видів енергії; створення матеріалів з наперед заданими властивостями; створення нових прискорювачів.

Шановний читачу, пригадавши основні завдання та проблеми фізики, потрібно чітко усвідомлювати: що фізика вивчає найпростіші і найбільш загальні властивості матерії та форми її існування; що матерія існує у вигляді полів, які (певним чином організовані) утворюють елементарні частинки, які, в свою чергу об'єднуючись між собою, утворюють речовину; що способом існування матерії є рух; що процес пізнання матерії є неперервним і складається з історично обмежених етапів наближення до абсолютної істини через ряд відносних істин; що матерія існує в просторі і часі, і що простір виражає порядок співіснування окремих об'єктів, а час – порядок зміни явищ.

РОЗДІЛ I

ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ І ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ

Фізичні закони виражають у вигляді математичних співвідношень між фізичними величинами. Під фізичними величинами розуміють виміряні характеристики (властивості) фізичних об'єктів (предметів, станів, процесів). Прикладами таких величин можуть бути: температура, час, довжина, густина, сила струму, тиск, об'єм і ін.

Кожна фізична величина виражає собою добуток її числового значення на одиницю вимірювання, тобто дорівнює числовому значенню, помноженому на одиницю вимірювання. Таким чином, вираз: час дорівнює 5 секунд ($t=5\text{ с}$) означає, що виміряний час є п'ятикратне повторення секунди. Із сказаного випливає, що числове значення без одиниці вимірювання не може бути характеристикою фізичної величини.

1.1 Основні фізичні величини

У фізиці використовують 7 основних фізичних величин: *довжина, час, маса, температура, сила струму, кількість речовини, сила світла.*

1.2 Похідні фізичні величини

За допомогою основних фізичних величин можна одержати інші фізичні величини (похідні) або використовуючи вирази для законів природи, або шляхом цілеспрямованого визначення їх через множення або ділення основних величин. Наприклад: швидкість дорівнює шляху, поділеному на час, робота дорівнює силі, помноженій на переміщення і ін..

1.3 Позначення фізичних величин

Фізичні величини у формулах, таблицях або на графіках позначаються спеціальними символами. У відповідності з міжнародними угодами введені відповідні стандарти на позначення основних фізичних величин (табл.1).

Таблиця 1

№	Основні фізичні величини	Позначення
1	Довжина	L
2	Час	t
3	Маса	m
4	Сила електричного струму	I
5	Температура за шкалою Кельвіна	T
6	Кількість речовини	n
7	Сила світла	I

Фізична величина, поміщена в квадратні дужки, означає одиницю вимірювання цієї величини, наприклад, вираз $[U]=V$ читається так: "одиниця вимірювання напруги дорівнює вольту". Якщо фізична величина взята у фігурні дужки $\{U\}$, то це вказує тільки на її цифрове значення, наприклад, вираз $\{U\}=220$ читається так: "числове значення напруги дорівнює 220". Тому що кожне значення фізичної величини виражається добутком числового значення на одиницю вимірювання, то, очевидно, наведений приклад запишеться так: $U=\{U\}[U]=220\text{ В}$.

1.4 Розмірність фізичних величин

Розмірність фізичної величини встановлює її зв'язок з основними величинами. Вона завжди виражається добутком позначень основних фізичних величин з відповідними для кожної із них показниками степенів. Наприклад: розмірність (dim) швидкості визначається як шлях, поділений на час, тобто $dim\ v = L/T = LT^{-1}$. Позначення розмірностей основних фізичних величин, прийнятих у фізиці у відповідності з міжнародними угодами, показані в таблиці 2.

Зверніть особливу увагу: необхідно чітко розрізняти поняття розмірності і одиниці вимірювання, тому що часто одиницю вимірювання помилково називають розмірністю і навпаки.

Таблиця 2

	Основні фізичні величини	Позначення
1	Довжина	L
2	Час	T
3	Маса	M
4	Сила електричного струму	I
5	Температура за шкалою Кельвіна	T

6	Кількість речовини	N
7	Сила світла	I

1.5 Скалярні фізичні величини

У фізиці потрібно чітко розрізняти скалярні і векторні величини. *Скалярні величини* повністю характеризуються числовим значенням і одиницею вимірювання.

Наприклад: час $t=6$ с, температура $T=10$ К, електричний заряд $q=2$ Кл, маса $m=1$ кг. В розрахунках скалярні величини виражаються дійсними числами і з ними можна виконувати всі без винятку дії, які виконуються з дійсними числами. Скалярні величини можуть мати додатні або від'ємні числові значення (за винятком температури за шкалою Кельвіна).

1.6 Векторні величини

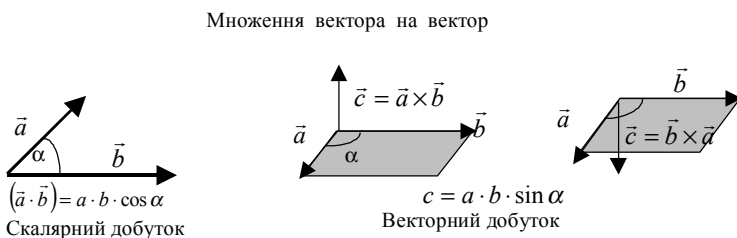
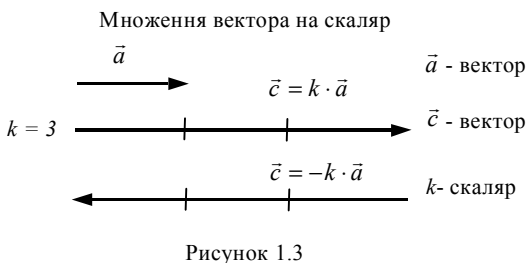
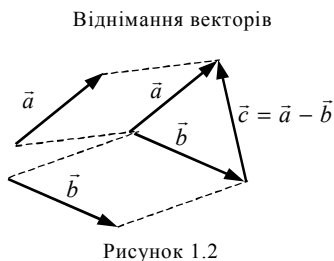
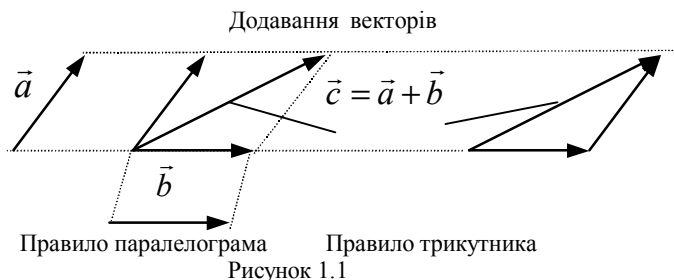
Векторна величина характеризується числовим значенням, одиницею вимірювання і напрямом.

Наприклад: швидкість, сила, напруженість електричного поля і ін. Для того, щоб вказати на векторний характер фізичної величини, над її позначенням ставиться стрілка, наприклад: $\vec{v}$ (швидкість), $\vec{F}$ (сила), $\vec{E}$ (напруженість електричного поля) і ін.. Часто для позначення векторів використовують потовщені букви. На рисунку векторна величина зображається відрізком, який має довжину і напрям (довжина вектора відповідає числовому значенню величини в певному масштабі). Потрібно мати на увазі, що якщо напрям векторної величини є не суттєвим, а важливим є тільки числове значення і одиниця вимірювання, то записують так: $|\vec{F}|$ - модуль вектора $\vec{F}$, або просто F .

Пам'ятайте: що вектори, які можна вільно переміщувати в просторі чи площині паралельно самим собі, називаються *вільними*; що вектори, які можуть вільно переміщуватися тільки вздовж лінії їх дії, дістали назву *колінеарних* векторів; що вектори, які виходять з однієї точки і не можуть переміщуватися, називаються *ортвекторами*.

У фізиці, особливо механіці та електростатиці, приходиться додавати та віднімати вектори, визначати добуток векторної і скалярної величин, скалярний добуток

двох векторних величин, векторний добуток двох векторних величин. Відповідні операції над векторними і скалярними величинами можна пригадати, проаналізувавши рис. 1.1 - 1.6.



Розкладання вектора на складові

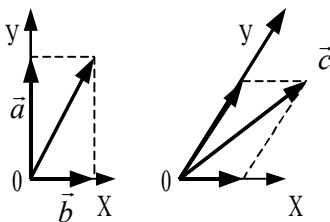


Рисунок 1.5

Проекції вектора на координатні осі

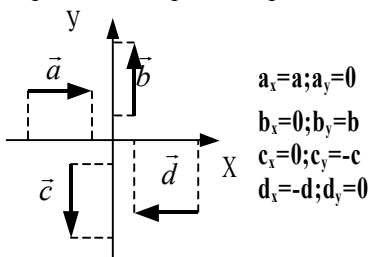


Рисунок 1.6

Детальніше з операціями над векторними величинами можна познайомитися в довідниках з математики.

1.7 Міжнародна система одиниць (SI)

Одним із найважливіших завдань фізики і техніки є вимірювання. Для вимірювання потрібно мати не тільки вимірювальні прилади, але і встановити відповідні одиниці вимірювання, об'єднані в певну систему. В даний час використовується прийнята у 1960 р. єдина Міжнародна система одиниць. На всіх мовах світу вона одержала скорочену назву - (SI) - система вимірювань інтернаціональна, а її одиниці називаються одиницями SI. Кожна із основних фізичних величин вимірюється у відповідних одиницях (табл. 3).

Таблиця 3

	Фізичні величини	Назва одиниць вимірювання	Скорочене позначення
1	довжина	метр	м
2	час	секунда	с
3	маса	кілограм	кг
4	сила струму	ампер	А
5	температура	кельвін	К
6	кількість речовини	моль	моль
7	сила світла	кандела	Кд

Похідні фізичні величини вимірюються у відповідних їм похідних одиницях, наприклад: швидкість у м/с,

прискорення у м/с^2 , а їх розмірність відповідно $\dim v = LT^{-1}$, $\dim a = LT^{-2}$, сила – в ньютонках, а розмірність $\dim F = MLT^{-2}$. Більша частина похідних одиниць вимірювання мають назву і скорочене позначення, наприклад: ньютон (Н) – одиниця сили, паскаль (Па) – одиниця тиску, кулон (Кл) – одиниця кількості електрики і ін..

В окремих випадках одиниці вимірювання системи SI як основні, так і похідні, виявляються дуже великими або дуже малими, тоді за допомогою префіксів можуть бути утворені кратні і частинні одиниці (табл. 4).

Таблиця 4

Префікси	Коротке позначення	Значення	Префікси	Коротке позначення	Значення
дека	да	10^1	деци	д	10^{-1}
гекто	г	10^2	санти	с	10^{-2}
кіло	к	10^3	мілі	м	10^{-3}
мега	М	10^6	мікро	мк	10^{-6}
гіга	Г	10^9	нано	н	10^{-9}
тера	Т	10^{12}	піко	п	10^{-12}
пета	П	10^{15}	фенто	ф	10^{-15}
екса	Е	10^{18}	атто	а	10^{-18}

Еталонами кожної основної одиниці SI є:

метр - визначається як 165763,73 довжини хвилі у вакуумі випромінювання, що відповідає переходу між рівнями $2p_{10}$ і $5d_5$ атома криптоу – 86;

секунда - дорівнює 9192631,770 періодам випромінювання, що відповідає переходу між двома надтонкими рівнями основного стану атома цезію-133;

кілограм - визначається як маса міжнародного прототипу кілограма платино-іридієвого циліндра висотою 39 мм і діаметром 39 мм, що зберігається в Парижі;

кельвін - дорівнює $1/273,16$ частині температури потрійної точки чистої води;

моль – така кількість речовини, в якій вміщується стільки структурних елементів, скільки атомів в 12 г ізотопу вуглецю-12;

В 1 молі вміщується $6,022 \times 10^{23}$ структурних елементів (число Авогадро);

кандела – сила світла, що випромінюється чорним тілом перпендикулярно до поверхні площею $1/60 \text{ см}^2$ при температурі 2042,5 К (температура твердіння платини за нормальних умов);

ампер – сила такого електричного струму, який, протікаючи по двох паралельних нескінченно довгих провідниках, розміщених на відстані 1 м один від одного, викликає силу взаємодії $2 \times 10^{-7} \text{ Н}$ на кожний метр довжини провідника.

Потрібно пам'ятати, що крім перерахованих основних величин у системі SI фігурують додаткові величини: плоский кут, що вимірюється в радіанах (рад), і просторовий (тілесний) кут, що вимірюється в стерadianах (ср).

Радіан – центральний кут, довжина дуги якого дорівнює радіусу кола.

Стерадіан – просторовий (тілесний) кут, площа основи сферичної поверхні якого дорівнює квадрату її радіуса.

РОЗДІЛ II

МЕХАНІКА

Механіка - розділ фізики, що вивчає переміщення одних тіл (частинок) відносно інших в просторі з плином часу та пов'язані з ними взаємодії.

На сьогоднішній день сформувались три вітки механіки: класична, релятивістська та квантова. Класична механіка вивчає відносне переміщення тіл (частинок) з швидкостями, значно меншими від швидкості світла. В основу класичної механіки покладені закони Ньютона. При цьому простір і час вважаються абсолютними (незалежними від розміщення і руху матеріальних об'єктів), тіла позбавлені квантових ефектів і не розглядається природа взаємодії між ними. Об'єктами вивчення класичної механіки є моделі: **матеріальна точка** (тіло, розмірами якого нехтують в умовах даної задачі, а масу вважають зосередженою в точці); **абсолютно тверде тіло** (агрегатний стан речовини, який характеризується сталістю форми і об'єму); **суцільне середовище** (неперервне, з однаковими в кожній точці властивостями). Основним завданням класичної механіки є визначення положення тіла в просторі в будь-який момент часу. Класична механіка поділяється на кінематику, динаміку і статику.

2.1 Основи кінематики

Основним завданням кінематики є вивчення характеру руху тіла без розгляду причин, які цей рух викликають чи змінюють. Іншими словами, кінематика дає відповідь на запитання: "як тіло рухається". Основними поняттями кінематики є система відліку, положення тіла в просторі, шлях, переміщення, швидкість, прискорення, які виникли в результаті осмислення людиною фундаментальних понять **простору і часу**. Для фізики і всього природознавства поняття простору і часу є основними. Кожному матеріальному об'єкту притаманна просторова протяжність і віддаленість від інших об'єктів. Час виражає послідовність зміни явищ, процесів одних за одними. Просторово-часову

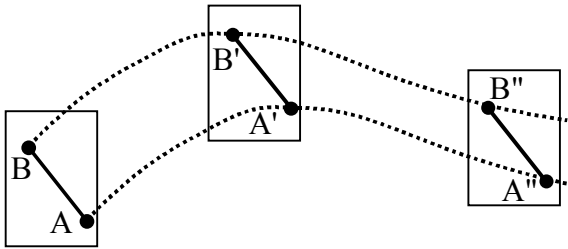
характеристику **положення тіла** включає в себе поняття системи відліку (див. 2.1.3).

2.1.1 Механічний рух

Механічним рухом називається зміна з плином часу положення тіл чи їх частинок у просторі відносно інших тіл (частинок).

Розрізняють два види руху: поступальний і обертаний.

*Рух, під час якого будь-яка пряма, проведена в тілі, в процесі його руху залишається паралельна сама собі (рис. 2.1), називається **поступальним**.*



$$AB \parallel A'B' \parallel A''B''$$

Рисунок 2.1

Прикладами такого руху може бути рух автомобіля, поїзда, велосипеда і ін.

*Рух, під час якого всі точки тіла, що рухається, описують кола, центри яких лежать на одній прямій, що є віссю обертання, називається **обертаним** (рис. 2.2).*

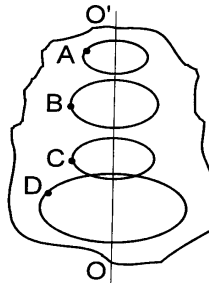


Рисунок 2.2

Прикладами такого руху є обертання Землі навколо своєї осі, обертання коліс, шківів, шестерень і ін..

2.1.2 Траєкторія і шлях

Траєкторія – неперервна лінія, яку описує тіло (матеріальна точка) під час свого руху відносно вибраної системи координат.

Шлях (S) – довжина траєкторії, якою рухається тіло.

Шлях – скалярна величина і в системі SI вимірюється в метрах (м), тобто $[S]=\text{м}$.

За формою траєкторії поступальний рух може бути *прямолінійним*: траєкторія - пряма лінія, і *криволінійним*: траєкторія - крива лінія. Найпростішим криволінійним поступальним рухом є рух тіла по колу. Не ототожнюйте поступальний рух тіла по колу з обертовим рухом (подумайте чому?).

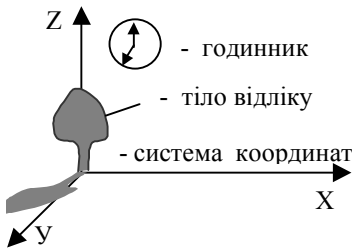


Рисунок 2.3

2.1.3 Система відліку

Тіло відліку, зв'язану з ним систему координат і пристрій для вимірювання часу називають **системою відліку** (рис.2.3).

Тіло, відносно якого судять про рух іншого тіла, вважають тілом відліку. Система координат дає можливість визначити положення тіла (точки) в просторі (три координати), на площині (дві координати) і на прямій (одна координата) (рис. 2.4).

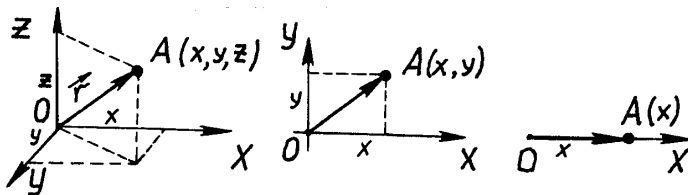


Рисунок 2.4

Потрібно мати на увазі, що положення точки A може бути задане і радіус-вектором $\vec{r}$.

Системи відліку можуть бути інерціальні і неінерціальні. Оскільки немає абсолютно нерухомих тіл

відліку, то немає й абсолютних систем відліку.

Системи відліку, відносно яких рух матеріального тіла підлягає закону інерції, а єдиною причиною зміни вектора швидкості в такій системі є взаємодія між тілами, називають **інерціальними системами відліку**.

Рух інерціальної системи відліку не впливає на закони перебігу явищ у ній. Інерціальна система відліку – це абстракція, яка тоді точніше збігається з реальною системою відліку, якщо взяти тіла, які за час руху даного об'єкта практично можна вважати непорушними. Так, система відліку, пов'язана з поверхнею Землі, тільки наближено може вважатися інерціальною, адже рух Землі навколо Сонця не є рівномірним, а от система відліку, пов'язана з Сонцем і далекими зорями Галактики, - в більшій мірі інерціальна. Інерціальна система відліку постулюється першим законом Ньютона – системи відліку, в яких виконується перший закон Ньютона, є інерціальними. Системи відліку, які рухаються зі сталим вектором швидкості по відношенню до інерціальної системи відліку, також є інерціальними системами відліку. Якщо система відліку інерціальна, то інерціальними будуть системи, утворені такими способами:

- перенесенням початку координат;
- зміною початку відліку часу.

Системи відліку, які обертаються або рухаються з прискоренням, є **неінерціальними**.

2.1.4 Переміщення

Переміщення ($\vec{r}$) - векторна величина, яка з'єднує початкове і кінцеве положення рухомого тіла (матеріальної точки) (рис.2.5).

Проекції вектора $\Delta\vec{r}$ на ox і oy :

$$\Delta r_x = x_1 - x_0;$$

$$\Delta r_y = y_1 - y_0.$$

Величина переміщення, як і шлях, в системі SI вимірюється в метрах (м), тобто $[r]=\text{м}$.

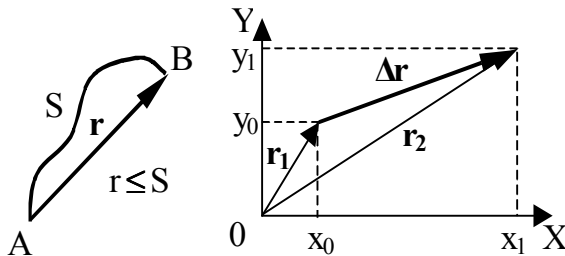


Рисунок 2.5

2.1.5 Швидкість

Швидкість ($\vec{v}$) – векторна величина, яка характеризує зміну вектора переміщення з часом і визначається відношенням зміни переміщення ($\Delta \vec{r}$) до проміжку часу (Δt), протягом якого тіло (матеріальна точка) здійснило це переміщення

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

Якщо рух прямолінійний, то напрям швидкості співпадає з напрямом переміщення, а числове значення переміщення дорівнює числовому значенню шляху (за винятком випадків, коли тіло рухається зворотно і повертається у вихідне положення).

З досвіду відомо, що швидкість рухомого тіла може змінюватись з плином часу, а отже є зміст говорити про середню швидкість і швидкість, яку має тіло в даний момент часу в даній точці траєкторії (миттєва швидкість). *Середня швидкість* ($\bar{v}_c$) може бути визначена відношенням переміщення ($\Delta \vec{r}$) до проміжку часу (Δt), протягом якого тіло (матеріальна точка) це переміщення здійснило $\bar{v}_c = \Delta \vec{r} / \Delta t$. Якщо рух прямолінійний, то $v_c = \Delta S / \Delta t$. Практично це співвідношення справедливе для характеристики будь-якого поступального руху тіла.

Миттєва швидкість визначається як границя співвідношення $\Delta \vec{r} / \Delta t$, коли проміжок часу прямує до нуля, тобто

$$\vec{v}_M = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}.$$

Якщо рух прямолінійний, то

$$v_M = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{dS}{dt}.$$

Для криволінійного руху вектор швидкості напрямлений вздовж дотичної до траєкторії в будь-якій точці.

Швидкість в системі SI вимірюється в м/с, тобто $[v]=\text{м/с}$.

2.1.6 Прискорення

Для характеристики зміни швидкості введена величина, яка дістала назву прискорення ($\vec{a}$).

Прискорення – векторна величина, яка характеризує зміну вектора швидкості з плином часу і визначається відношенням зміни швидкості до проміжку часу, протягом якого ця зміна відбувається

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

Якщо тіло рухається прямолінійно, то під час збільшення швидкості напрям прискорення співпадає з напрямом швидкості, якщо ж швидкість зменшується, то напрями будуть протилежні.

В системі SI прискорення вимірюється в м/с², тобто $[a]=\text{м/с}^2$.

2.1.7 Рівномірний поступальний рух тіла та графіки залежності переміщення (шляху) і швидкості від часу

В повсякденному житті людини зустрічаються різноманітні поступальні рухи як за характером руху, так і за формою траєкторії. Одним із найпростіших поступальних рухів є рівномірний прямолінійний.

*Рух, під час якого тіло за будь-які, але рівні, проміжки часу проходить рівні шляхи (переміщення), називається **рівномірним**.*

Прикладом рівномірного поступального руху може бути: рух автомобіля на певній ділянці шляху, рух корабля в безвітряну погоду і ін., а прикладом рівномірного поступального руху тіла по колу є рух людини на “чортовому колесі”. Швидкість під час рівномірного прямолінійного поступального руху є сталою як за величиною, так і за напрямом. Для рівномірного поступального руху тіла по кривій лінії модуль швидкості є сталою величиною, але її напрямок змінюється (рис.2.6).

Рівнянням рівномірного прямолінійного поступального руху є така залежність між переміщенням (шляхом) $(\vec{r}, S)$, швидкістю $\vec{v}$ і часом t :

$$\vec{v} = \text{const},$$

$$\vec{r} = \vec{v} \cdot t.$$

Оскільки при цьому русі $|\vec{r}| = S$, а швидкість є сталою величиною, то можна записати: $S = v \cdot t$.

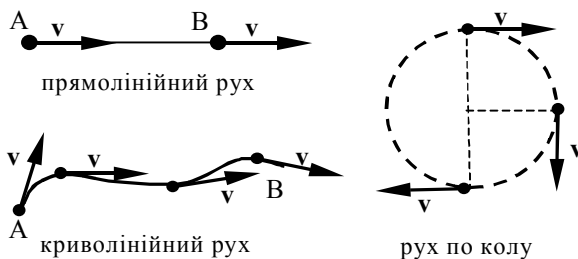


Рисунок 2.6

Вище було наголошено, що основним завданням механіки є визначення положення тіла в будь-який момент часу. Визначивши координати тіла, виконаємо завдання механіки. Координати тіла можуть бути визначені із залежності $S = v \cdot t$, а саме: 1) одна координата – тіло рухається вздовж прямої OX , (рис.2.7,а): $x = x_0 \pm v_x \cdot t$; 2) дві координати – тіло рухається в площині, (рис.2.7, б): $x = x_0 \pm v_x \cdot t$, $y = y_0 \pm v_y \cdot t$; 3) три координати (тіло рухається в просторі, рис.2.7, в): $x = x_0 \pm v_x \cdot t$;

$y = y_0 \pm v_y \cdot t$; $z = z_0 \pm v_z \cdot t$, де v_x , v_y , v_z – проєкції швидкості на відповідні осі координат. Знак “+” чи “-” залежить від напрямку руху тіла по відношенню до початку координат. Потрібно мати на увазі, що для визначення положення тіла в просторі користуються ще і радіус-вектором ($\vec{r}$), тоді:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}t.$$

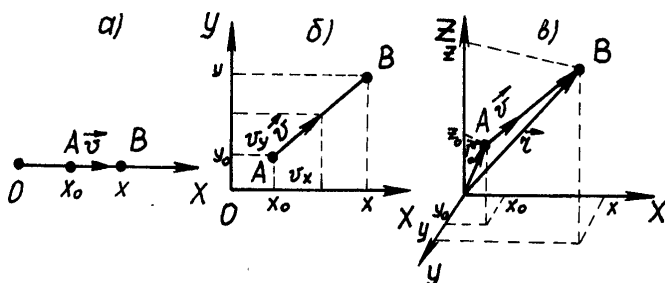


Рисунок 2.7

Графіком залежності величини переміщення (шляху) від часу розглянутого руху є пряма, яка проходить через початок координат (OS, Ot) і нахилена до осі часу під кутом, величина якого прямо пропорційна величині швидкості руху і визначається з умови: $\tan \alpha = v$, (рис.2.8).

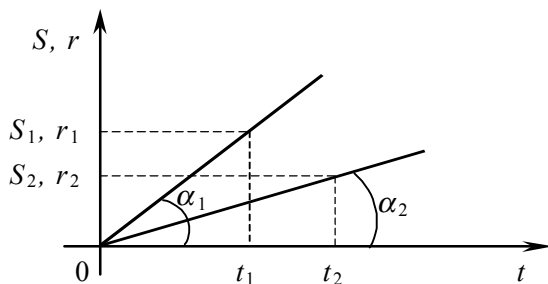


Рисунок 2.8

Графіком залежності швидкості від часу є пряма лінія, паралельна до осі часу, а величина відрізка, що відтинається прямою на осі швидкості, чисельно дорівнює величині швидкості (рис.2.9).

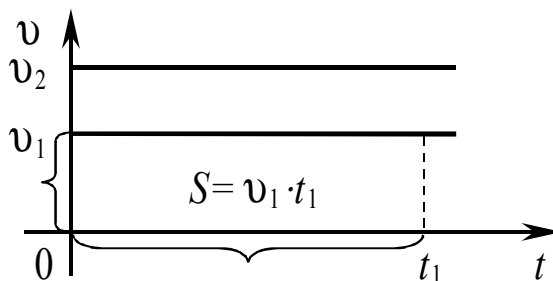


Рисунок 2.9

З графіка видно, що шлях на графіку швидкості зображується площею фігури, обмеженої осями координат OV і Ot , графіком швидкості і перпендикуляром, проведеним до осі часу в точці t_1 : $S = v_1 \cdot t_1$.

2.1.8 Рівнозмінний прямолінійний поступальний рух графіки залежності переміщення (шляху), швидкості і прискорення від часу

Одним із найпростіших змінних поступальних прямолінійних рухів є рівнозмінний.

*Рух, під час якого тіло за будь-які рівні проміжки часу змінює свою швидкість на одну і ту ж величину, називають **рівнозмінним**.*

Прискорення для такого руху є величиною сталою і може бути визначене так: $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}$, де v_0 – швидкість тіла

на початку спостереження за рухом, v – швидкість тіла в кінці спостереження, Δt – час спостереження. Тоді швидкість в кінці спостереження $v = v_0 + at$ (де $t = \Delta t$ якщо $t_0 = 0$). Якщо прискорення має напрям, протилежний до напрямку швидкості, то $v = v_0 - at$. Тоді кажуть, що рух *рівносповільнений*. Якщо тіло починає рух із стану спокою ($v_0=0$), то $v = at$.

Графіком швидкості рівнозмінного руху, якщо $v_0=0$, є пряма, що проходить через початок координат (Ov, Ot) і

нахилена до осі часу під кутом, величина якого пропорційна величині прискорення (рис. 2.10, а). Якщо початкова швидкість $v_0 \neq 0$, то пряма відтинає на осі швидкості відрізок, рівний величині початкової швидкості (рис. 2.10, б).

За графіком швидкості (рис. 2.10, б) можна визначити шлях, пройдений тілом за певний проміжок часу. Шлях на цьому графіку визначається площею трапеції $OABD$. Площа

трапеції $S = \frac{1}{2} AC(OA + BD)$, де $AC=t$, $OA=v_0$, $BD=v_0+at$,

тоді:

$$S = \frac{1}{2} t(v_0 + v_0 + at) = v_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

Якщо $v_0=0$, то

$$S = \frac{at^2}{2}.$$

Якщо прискорення має напрям, протилежний до напрямку руху, тоді

$$S = v_0 t - \frac{at^2}{2}$$

і такий рух називають рівносповільненням. В загальному випадку рівнозмінний рух тіла описується рівняннями:

$$v = v_0 \pm at, \quad S = v_0 t \pm \frac{at^2}{2}.$$

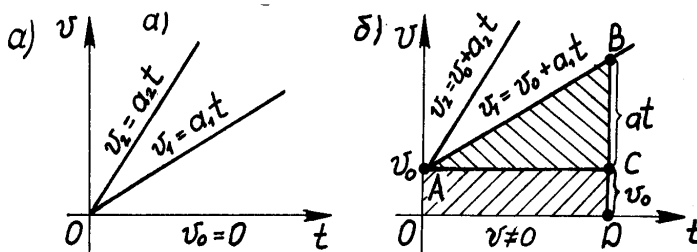


Рисунок 2.10

Запам'ятайте, що тільки для рівнозмінного руху середня швидкість може дорівнювати середній арифметичній

$$v_c = \frac{v_0 + v}{2}.$$

Тоді шлях для рівнозмінного руху також можна визначити, використовуючи значення середньої швидкості, а саме:

$$S = v_c t = \frac{v_0 + v}{2} \cdot t = \frac{v_0 + v_0 + at}{2} \cdot t = v_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

Положення тіла як для рівнозмінного руху, так і для рівномірного прямолінійного, визначається координатами:

1) однією координатою – для руху тіла в напрямі однієї координатної осі:

$$x = x_0 + v_{ox} \cdot t + \frac{a_x t^2}{2};$$

2) двома координатами – для руху тіла в площині:

$$x = x_0 + v_{ox} \cdot t + \frac{a_x t^2}{2};$$

$$y = y_0 + v_{oy} \cdot t + \frac{a_y t^2}{2},$$

3) трьома координатами – для руху тіла в просторі:

$$x = x_0 + v_{ox} \cdot t + \frac{a_x t^2}{2};$$

$$y = y_0 + v_{oy} \cdot t + \frac{a_y t^2}{2};$$

$$z = z_0 + v_{oz} \cdot t + \frac{a_z t^2}{2},$$

де v_{ox} , v_{oy} , v_{oz} , a_x , a_y , a_z – проекції векторів швидкості та прискорення на відповідні осі координат.

Прискорення тіла під час рівнозмінного прямолінійного руху є величина стала, а отже графіком прискорення є пряма, паралельна до осі часу (рис. 2.11).

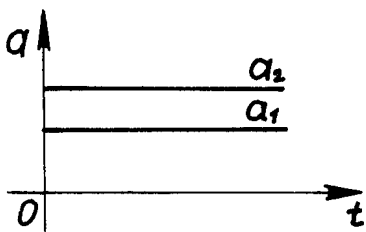


Рисунок 2.11

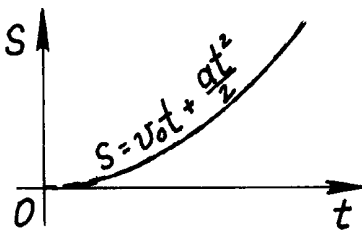


Рисунок 2.12

Графіком шляху (переміщення) є вітка параболи, яка проходить через початок координат (рис. 2.12).

Запам'ятайте, що рівномірний рух описується рівнянням $S = v \cdot t$, а рівнозмінний рух описується

рівняннями: $v = v_0 \pm at$ і $S = v_0 t \pm \frac{at^2}{2}$, а також, що під час рівномірного руху $v = const$, а під час рівнозмінного – $a = const$.

2.1.9 Відносність руху. Додавання швидкостей (перетворення Галілея)

Розглянувши основні поняття кінематики та найпростіші рухи, можна з впевненістю стверджувати, що будь-який рух і стан спокою є відносними. В природі не існує абсолютного руху і абсолютного спокою. Згідно з принципом відносності (сформульованим Галілеєм у 1638 р.) закони механіки однакові в будь-якій інерціальній системі відліку, тобто всі механічні процеси за одних і тих же умов протікають однаково. Спостерігач, знаходячись в інерціальній системі відліку, не може за перебігом механічних змін у цій системі визначити швидкість цієї системи (визначити, чи система рухається рівномірно, чи знаходиться в спокої).

В повсякденному житті людини доводиться мати справу із складними рухами, тобто рухами, які складаються з декількох простих рухів, наприклад: рух вантажу, що піднімається краном, рух човна під час переправи через річку і ін.. Для таких рухів виникає потреба у визначенні результуючого переміщення і результуючої швидкості. Результуючі переміщення і швидкість визначаються просто у випадку, коли прості рухи спрямовані в одному напрямі:

вони дорівнюють сумі, коли напрями рухів співпадають, і різниці, - коли напрями протилежні. Крім цього випадку, буває потреба у визначенні переміщення і швидкості, коли прості рухи (швидкості) напрямлені під певним кутом, наприклад: швидкість човна, який перепливає річку, напрямлена під певним кутом до течії (рис. 2.13).

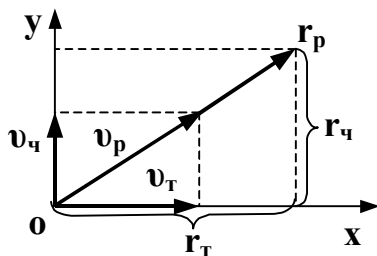


Рисунок 2.13

Результуюча швидкість при цьому дорівнює векторній сумі складових швидкостей:

$$\vec{v}_p = \vec{v}_ch + \vec{v}_m$$

де v_{ch} – швидкість човна під дією зусиль весляра, v_m – швидкість течії, v_p –

результуюча швидкість човна.

Векторною сумою визначається і результуюче переміщення: $\vec{r}_p = \vec{r}_{ch} + \vec{r}_m$. Модуль переміщення і модуль швидкості відповідно визначаються:

$$r = \sqrt{r_{ch}^2 + r_m^2} \text{ і } v = \sqrt{v_{ch}^2 + v_m^2}.$$

Зверніть увагу на те, що дві останні формули справедливі тільки для випадків, коли складові напрямлені перпендикулярно.

Часто під час розгляду складних рухів виникає потреба у визначенні складових (простих) рухів (дивися рух тіла, кинутого горизонтально і під кутом до горизонту).

Оскільки всякий рух є відносним, а отже залежить від вибору системи відліку, то і швидкість, і переміщення (координата) також залежать від вибору системи координат. Тому Галілеєм для зв'язку між координатами, а значить і для переходу від однієї системи відліку до іншої, були виведені рівняння, які дістали назву перетворень Галілея.

Нехай дано інерціальну систему відліку $OXYZ$ (рис. 2.14). Якщо інша система $O'X'Y'Z'$ рухається відносно першої із швидкістю $\vec{u}$, напрям якої співпадає з віссю OX , а $OY // O'Y'$ і $OZ // O'Z'$, то координати матеріальної точки M

(тіла) в системі $OXYZ$ можна виразити через координати x' , y' , z' системи $O'X'Y'Z'$, тобто:

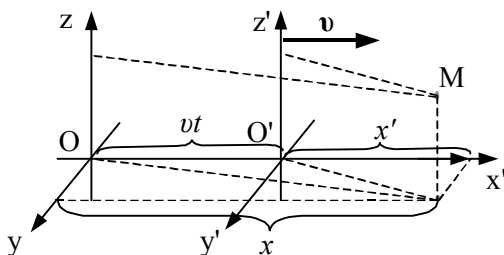


Рисунок 2.14

$$x = x' + ut,$$

$$y = y',$$

$$z = z'.$$

В початковий момент часу $t=0$ початки координат обох систем співпадають, тоді $x=x'$, $y=y'$ і $z=z'$. У класичній механіці, як відомо, постулюється, що час t і t' в обох системах однаковий, тому $t = t'$.

$$\text{Рівняння} \left\{ \begin{array}{l} x = x' + u \cdot t; \\ y = y'; \\ z = z'; \\ t = t' \end{array} \right.$$

є формулами для переходу від однієї системи відліку до іншої і називаються **перетвореннями Галілея**.

Якщо взяти першу, а потім і другу похідну від $x = x' + ut$, то одержимо зв'язок між швидкостями і прискореннями в різних системах:

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u};$$

$$a = a'.$$

2.1.10 Вільне падіння тіл. Прискорення вільного падіння

Вільне падіння – рух, який здійснювало б тіло під дією лише сили тяжіння.

Перші досліди з вивчення вільного падіння виконав Ньютон (пригадайте трубку Ньютона). Він довів, що всі тіла,

незалежно від їх маси, на даній географічній широті з даної висоти падають під дією сили тяжіння з однаковим прискоренням, яке дістало назву прискорення вільного падіння.

Прискорення вільного падіння залежить тільки від географічної широти і висоти, з якої тіло падає:

$$g = G \frac{M_z}{(R + h)^2},$$

де G – гравітаційна стала; M_z – маса Землі; R – радіус Землі; h – висота тіла над рівнем моря. Для середніх широт і невеликих висот $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Вільне падіння є рівнозмінним (рівноприскореним) рухом, тому рух тіла буде описуватись рівняннями:

$$v = gt; \quad h = \frac{gt^2}{2}, \quad \text{а координата тіла:} \quad y = y_0 + \frac{gt^2}{2}.$$

Якщо тіло кинуто вертикально вгору або вниз, то рівняння мають відповідно такий вигляд:

$$v = v_0 \pm gt; \quad h = v_0 t \pm \frac{gt^2}{2}; \quad y = y_0 \pm v_0 t \pm \frac{gt^2}{2}.$$

Пам'ятайте, що знак проекції векторів швидкості і прискорення залежить від напрямку осі OY і даного вектора.

2.1.11 Рух тіла, кинутого горизонтально

Рух тіла, кинутого горизонтально, є складним рухом, який складається з двох простих взаємоперпендикулярних рухів: горизонтального (рівномірного) за інерцією і вертикального (вільного падіння) під дією сили тяжіння.

Якщо нарисувати траєкторію руху тіла, кинутого горизонтально (рис. 2.15), в системі координат XOY , то координати кожної точки M траєкторії являють собою переміщення тіла в горизонтальному напрямі (рух із сталою швидкістю v_0) і в вертикальному напрямі (рівноприскорений рух з прискоренням g): $x = v_0 t$ - дальність польоту;

$y = \frac{gt^2}{2}$ - висота, подолана тілом.

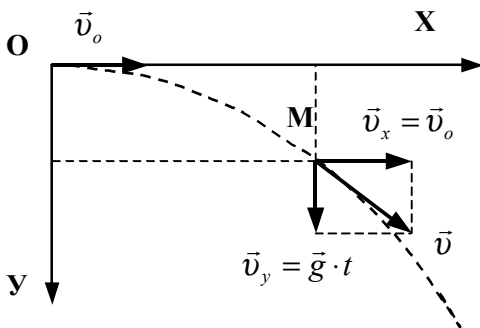


Рисунок 2.15

Визначивши x і y , знаходимо положення тіла в будь-який момент часу. Якщо підставити значення $t = \frac{x}{v_0}$ в

$y = \frac{gt^2}{2}$, одержимо рівняння траєкторії руху тіла, кинутого

горизонтально: $y = \frac{g}{2v_0^2} x^2$. Оскільки g і v_0 – сталі величини,

то $y \sim x^2$, тобто траєкторією руху тіла, кинутого горизонтально, є вітка параболи.

Результуючу швидкість в будь-який момент часу можна визначити із прямокутника складових швидкостей (рис.2.15):

$$v = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}.$$

Опір повітря при розгляді руху не брався до уваги.

2.1.12 Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту

Рух тіла, кинутого під кутом α до горизонту, є складним рухом, який складається з двох поступальних рухів: горизонтального (рівномірного) за інерцією і вертикального вгору і вниз (вільне падіння) під дією сили тяжіння.

Розклавши початкову швидкість тіла на горизонтальну і вертикальну складові (рис. 2.16), знаходимо координати довільної точки M траєкторії тіла в даний момент часу t :

$$v_{ox} = v_x = v_0 \cos \alpha ;$$

$$v_{oy} = v_0 \sin \alpha ;$$

$$x = v_{ox} t = v_0 \cdot t \cdot \cos \alpha ;$$

$$y = v_{oy} t - \frac{gt^2}{2} = v_0 \cdot t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} .$$

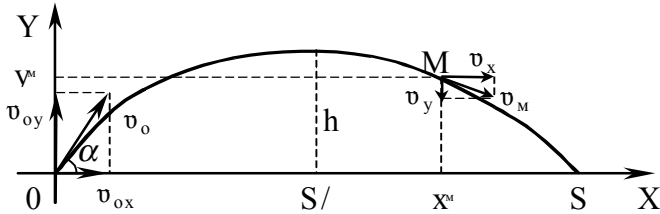


Рисунок 2.16

Підставивши значення $t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha}$ в рівняння

$$y = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} , \text{ одержимо рівняння траєкторії руху тіла}$$

(зв'язок між y і x):

$$y = \frac{v_0 \sin \alpha \cdot x}{v_0 \cos \alpha} - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} = x \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} \cdot x^2 .$$

Оскільки g , v_0 і α для конкретного руху є сталими величинами, то траєкторією руху є парабола (опором повітря нехтуємо).

Швидкість, яку має тіло в будь-якій точці траєкторії, можна визначити як векторну суму її горизонтальної (незмінна в часі) і вертикальної ($v_y = v_{oy} - gt = v_0 \sin \alpha - gt$) складових: $\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y$, а її

$$\text{модуль: } v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} .$$

Максимальне переміщення тіла протягом всього часу польоту (t_n) в горизонтальному напрямі (дальність польоту S)

і вертикальному напрямі (максимальна висота підйому h в момент $t = t_n/2$) визначається із умови:

$$v_y = 0 = v_0 \sin \alpha - g \frac{t_n}{2}.$$

Звідси $t_n = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$. Тоді

$$S = v_0 t_n \cos \alpha = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g};$$

$$h = \frac{v_0 t_n \sin \alpha}{2} - \frac{g t_n^2}{2 \cdot 4} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g} - \frac{g 4 v_0^2 \sin^2 \alpha}{2 \cdot 4 g^2} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}.$$

Зверніть особливу увагу на те, що горизонтальна швидкість v_x тіла, як для руху тіла, кинутого горизонтально, так і під кутом до горизонту, з часом не змінюється (за умови відсутності опору повітря), а вертикальна складова швидкості v_y змінюється за законом $v_y = v_{oy} - gt$ (коли тіло піднімається, то – зменшується, а коли падає – збільшується).

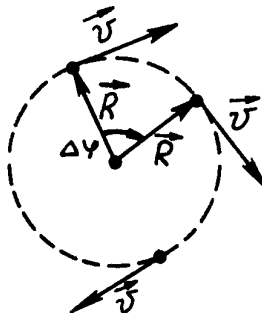
2.1.13 Рівномірний рух тіла по колу. Період і частота. Кутова і лінійна швидкості

Рівномірним рухом тіла по колу називається такий поступальний рух, при якому модуль лінійної швидкості v всіх точок тіла залишається незмінним, але однаково змінюється її напрям (рис.2.17).

Період (T) – час, протягом якого тіло (матеріальна точка) проходить шлях, рівний довжині кола.

Одиницею вимірювання періоду в SI є секунда (с), $[T]=\text{с}$.

Кількість обертів, які



$$|\vec{v}| = \text{const}$$

Рисунок 2.17

здійснює тіло (матеріальна точка) за одиницю часу, називають **частотою обертання**(n).

Одиницею вимірювання частоти є герц (Гц), $[n]=\text{Гц}$.

Між періодом і частотою є зв'язок:

$$T = \frac{1}{n}.$$

Кутова швидкість ($\vec{\omega}$) – векторна величина, значення якої визначається відношенням кута повороту ($\Delta\varphi$) рухомого радіуса R до проміжку часу (Δt), протягом якого цей поворот здійснюється, тобто:

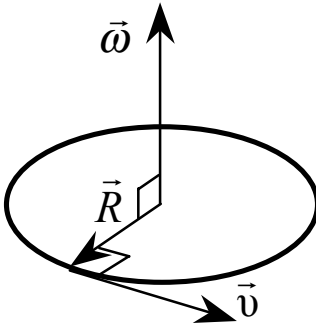
$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}.$$

Оскільки під час рівномірного руху тіла по колу за час, що дорівнює періоду T , рухомий радіус повертається на кут 2π , то можна записати:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n.$$

Напрямок кутової швидкості визначається **за правилом правого гвинта**: якщо напрям руху тіла по колу співпадає з напрямом правого гвинта, то

поступальний рух гвинта вказує на напрям кутової швидкості (рис. 2.18).



В системі SI кутова швидкість вимірюється в рад/с; $[\omega]=\text{рад/с}$.

Швидкість, з якою тіло (точка) рухається по колу, називають **лінійною швидкістю**.

Під час рівномірного руху тіла по колу за час, рівний періоду T , тіло (матеріальна точка) проходить шлях $2\pi R$, тоді лінійна швидкість $v = \frac{2\pi R}{T}$. Отже, між лінійною і кутовою

швидкостями існує такий зв'язок:

$$v = \omega \cdot R.$$

Зверніть увагу на те, що за однієї і тієї ж кутової швидкості, лінійна швидкість більша у того тіла (точки), яке далі розміщене від центра кола.

Положення тіла під час його руху по колу визначається величиною кута повороту ($\varphi = \omega \cdot t$), тому що радіус R для даного тіла (точки) є сталою величиною.

2.1.14 Доцентрове прискорення

В 2.1.13 було сказано, що для рівномірного руху тіла по колу швидкість змінюється за напрямом, а значить треба цю зміну охарактеризувати. Такою величиною, що оцінює зміну швидкості під час руху тіла по колу, є доцентрове прискорення.

*Прискорення, яке характеризує зміну напрямку швидкості, називається **доцентровим прискоренням**.*

Доцентрове прискорення – векторна величина, яка завжди напрямлена по радіусу до центра кола, по якому

рухається тіло. Покажемо, що $a_d = \frac{v^2}{R}$.

Для цього розглянемо рис.2.19.

З рис.2.19, видно, що через час Δt швидкість тіла $\vec{v}$ змінила свій напрям. Паралельно перенісши швидкості $\vec{v}$ з точки B в точку A , одержимо векторний трикутник ACD (рис.2.19), однією із сторін якого є $\Delta \vec{v}$, тобто зміна швидкості. З подібності трикутників, одержимо:

$$\frac{\Delta S}{R} = \frac{\Delta v}{v}.$$

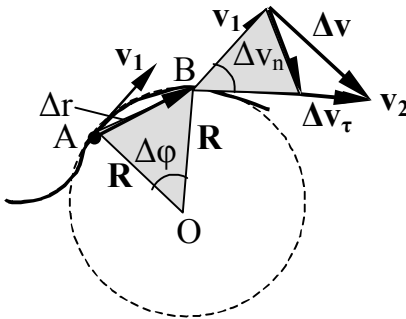


Рисунок 2.19

Оскільки рух рівномірний, то за умови малості Δt , можна записати: $\Delta S = v\Delta t$. Тоді

$$\frac{v\Delta t}{R} = \frac{\Delta v}{v} \Rightarrow a_{\partial} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v^2}{R}.$$

Враховуючи зв'язок кутової і лінійної швидкостей, доцентрове прискорення можна виразити через ω :

$$a_{\partial} = \omega^2 R = \omega \cdot v.$$

Доцентрове прискорення, як і прискорення для рівнозмінного руху, вимірюється в м/с^2 , $[a_{\partial}] = \text{м/с}^2$; розмірність $\dim a_{\partial} = LT^{-2}$.

Те, що $\vec{a}_{\partial}$ напрямлене вздовж радіуса до центра кола, випливає з того, що коли $\Delta t \rightarrow 0$, то кут між швидкостями $\vec{v}$ теж прямує до нуля, а значить кут між $\Delta \vec{v}$ і $\vec{v}$ прямує до $\pi/2$ (рис. 2.19).

В техніці часто зустрічаються змінні рухи тіла по колу. Найпростішим змінним рухом тіла по колу є рівнозмінний. Характеристиками руху є кутова швидкість (ω), кутове прискорення (ϵ), кут повороту рухомого радіуса (φ). Рівняннями, які описують рівнозмінний рух тіла по колу, за аналогією до рівнозмінного прямолінійного руху, є:

$$\omega = \omega_0 \pm \epsilon t;$$

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t \pm \frac{\epsilon t^2}{2}.$$

Кутове прискорення в системі SI вимірюється в рад/с^2 , $[\epsilon] = \text{рад/с}^2$.

2.1.15 Запитання для самоперевірки

Шановний читачу, перед тим як приступити до розв'язування задач для закріплення теоретичного матеріалу, постарайтесь дати відповіді на запитання:

1. Що вивчає фізика?
2. Яке завдання механіки взагалі і кінематики зокрема?
3. Що розуміють під механічним рухом?

4. Яка різниця між шляхом і переміщенням і коли їх можна прирівнювати?

5. Що розуміють під швидкістю і прискоренням та в яких одиницях вони вимірюються?

6. Яка різниця між середньою і миттєвою швидкістю і як їх можна визначити?

7. Чим відрізняються рівномірні рухи від рівнозмінних і що в них є спільного?

8. Якими рівняннями описуються рівномірні і рівнозмінні рухи?

9. Які графічні залежності переміщення (шляху), швидкості і прискорення від часу?

10. Який рух називають вільним падінням і якими рівняннями він описується?

11. З яких рухів складається рух тіла, кинутого під кутом до горизонту?

12. З яких рухів складається рух тіла, кинутого горизонтально?

13. Як визначити дальність польоту тіла, кинутого горизонтально і під кутом до горизонту?

14. Як визначити максимальну висоту падіння тіла, кинутого під кутом до горизонту?

15. Як визначити швидкість тіла, кинутого горизонтально і під кутом до горизонту в будь-якій точці траєкторії?

16. Якими величинами описується рівномірний рух тіла по колу і який між ними зв'язок?

17. Яка різниця між прискоренням поступального прямолінійного руху тіла і доцентровим прискоренням руху тіла по колу?

18. Чому не можна ототожнювати розмірність фізичних величин з їх одиницями вимірювання?

2.1.16 Приклади розв'язування задач з кінематики

Під час розв'язування задач доцільно притримуватися такої послідовності:

1. Проаналізувавши умову задачі, зробіть короткий запис умови, при цьому дані умови задачі виразить в системі SI.

2. Зробіть, де це потрібно, креслення, схему або рисунок, які б пояснювали описаний в умові задачі процес.

3. Після аналізу умови задачі опишіть її рівняннями та перетворіть їх так, щоб в кінцеве рівняння входили тільки величини, дані в умові задачі, і шукана величина.

4. Перевірте одиниці вимірювання шуканої величини, цим самим Ви зробите перевірку правильності розв'язку задачі.

7. Якщо одиниці вимірювання відповідають шуканій величині, то підставте числові дані і виконайте обчислення.

8. Оцініть числове значення шуканої величини і запишіть відповідь.

Задача першого рівня складності

1. Протягом десятих секунд швидкість космічної ракети збільшилася від 1 км/с до 7 км/с. З яким прискоренням рухалась ракета?

Дано:

$$v_0 = 1 \text{ км/с} = 1 \cdot 10^3 \text{ м/с}$$

$$v = 7 \text{ км/с} = 7 \cdot 10^3 \text{ м/с}$$

$$t = 10 \text{ с}$$

$a - ?$

Розв'язування

Рух ракети рівноприскорений, тому $v = v_0 + at$, звідки

$$a = \frac{v - v_0}{t}.$$

Перевірка одиниць вимірювання:

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

Підставивши числові дані, одержимо:

$$a = \frac{7 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 1 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \text{ с}} = 0,6 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Відповідь: ракета рухалась з прискоренням $0,6 \cdot 10^3 \text{ м/с}^2$.

Задачі другого рівня складності

1. Ескалатор метро піднімає пасажирів, що нерухомо стоять на ньому, за 1 хв. Ідучи по нерухомому ескалатору,

пасажир піднімається за 3 хв. За який час пасажир підніметься, ідучи по рухомому ескалатору?

Дано:	Розв'язування
$t_1 = 1 \text{ хв} = 60 \text{ с}$	Пасажир в першому і в другому випадках проходить однакову відстань. В першому випадку
$t_2 = 3 \text{ хв} = 180 \text{ с}$	$S = v_e t_1$, а в другому $S = v_n t_2$, де
$t - ?$	

v_e - швидкість ескалатора, v_n - швидкість пасажирів. Таку ж відстань проходить пасажир і у випадку, коли він рухається по рухомому ескалатору. $S = (v_n + v_e) t$. Підставивши в

останню рівність значення швидкостей $v_e = \frac{S}{t_1}$ і $v_n = \frac{S}{t_2}$,

визначимо час t :

$$S = \left(\frac{S}{t_1} + \frac{S}{t_2} \right) t; 1 = \left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} \right) t;$$

$$\text{і тоді } t = \frac{1}{\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2}} = \frac{t_1 \cdot t_2}{t_1 + t_2}.$$

Перевірка одиниць вимірювання:

$$[t] = \frac{\text{с}^2}{\text{с}} = \text{с}.$$

Підставивши числові дані, одержимо значення шуканої величини.

$$t = \frac{60 \cdot 180 \text{ с}^2}{60 \text{ с} + 180 \text{ с}} = \frac{1080}{24} \text{ с} = 45 \text{ с}.$$

Відповідь: 45 с.

2. Швидкість вільно падаючого тіла в момент удару об Землю 12 м/с. З якої висоти впало тіло? Прискорення вільного падіння вважати рівним 10 м/с².

Дано:	Розв'язування
$v = 12 \text{ м/с}$	Висота для вільного падіння $h = \frac{gt^2}{2}$. Для
$g = 10 \text{ м/с}^2$	її визначення необхідний час, протягом
$h - ?$	

якого падало тіло. Час t можна визначити із $v = gt$;

$$t = \frac{v}{g}, \text{ і тоді } h = \frac{gv^2}{2g^2} = \frac{v^2}{2g}.$$

Перевірка одиниць вимірювання:

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

Підставивши числові дані, одержимо значення шуканої величини:

$$h = \frac{12^2 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 7,2 \text{ м}.$$

Відповідь: тіло впало з висоти 7,2 м.

Задачі третього рівня складності

1. Потяг відійшов від станції і 15 с рухався рівноприскорено. Визначити шлях, пройдений потягом за цей час, і його швидкість в кінці цього шляху, якщо шлях, пройдений ним протягом 15-ї секунди на 2 м більший, ніж за попередню секунду.

Дано:	Розв'язування
$t = 15\text{с}$	Тому, що рух потягу зі стану спокою рівноприскорений, шляхи, пройдені ним за чотирнадцяту секунду (S_{14}) і за п'ятнадцяту секунду (S_{15}), можна визначити з рівнянь:
$S_{15} - S_{14} = 2\text{м}$	
$S - ?$	$S_{15} = v_{14}t_1 + \frac{at_1^2}{2}; S_{14} = v_{13}t_1 + \frac{at_1^2}{2},$
$v_{15} - ?$	

де $t_1 = 1\text{с}$, v_{14} - швидкість в кінці 14-ї секунди, v_{13} - швидкість в кінці 13-ї секунди (рис. 2.20).

За умовою задачі

$$S_{15} - S_{14} = v_{14}t_1 + \frac{at_1^2}{2} - v_{13}t_1 - \frac{at_1^2}{2} = v_{14}t_1 - v_{13}t_1.$$

$$v_{14} = a \cdot t_{14} \text{ і } v_{13} = a \cdot t_{13},$$

де t_{14} і t_{13} відповідно дорівнюють 13 і 14 секунд, тоді

$$S_{15} - S_{14} = a \cdot t_{14}t_1 - a \cdot t_{13}t_1 = a \cdot t_1(t_{14} - t_{13}).$$

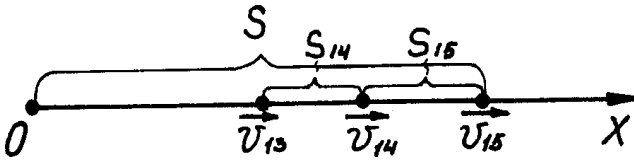


Рисунок 2.20

З останньої рівності можна визначити прискорення

$$a = \frac{S_{15} - S_{14}}{t_1(t_{14} - t_{13})}$$

і, підставивши його значення в $S = \frac{a \cdot t^2}{2}$

(бо $v_0 = 0$), одержимо шлях, пройдений тілом за 15 секунд:

$$S = \frac{S_{15} - S_{14}}{2t_1(t_{14} - t_{13})} t^2.$$

Швидкість в кінці 15-ї секунди $v_{15} = \frac{S_{15} - S_{14}}{t_1(t_{14} - t_{13})} t$.

Перевірка одиниць вимірювання:

$$[S] = \frac{\text{м} \cdot \text{с}^2}{\text{с}^2} = \text{м}; [v] = \frac{\text{м} \cdot \text{с}}{\text{с}^2} = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Підставивши числові дані, одержимо значення шуканих величин:

$$S = \frac{2\text{м} \cdot 225\text{с}^2}{2\text{с}^2} = 225\text{м}.$$

$$v_{15} = \frac{2\text{м} \cdot 15\text{с}}{1\text{с}^2} = 30\text{м/с}.$$

Відповідь: тіло за 15 с пройшло шлях 225м і в кінці шляху мало швидкість 30 м/с.

2. Під яким кутом до горизонту потрібно кинути тіло, щоб далькість польоту дорівнювала максимальній висоті підняття?

Дано:	Розв'язування
$S = h$	Відповідно до умови задачі $S = h$, тому для розв'язку задачі потрібно визначити S і h .
$\alpha - ?$	

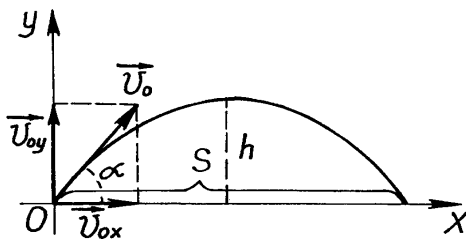


Рисунок 2.21

Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту, є складним. Він складається з двох простих рухів: руху тіла за інерцією і руху тіла під дією сили

тяжіння. В горизонтальному напрямі рух тіла рівномірний, тому $S = v_{0x}t$, але $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$ (рис.2.21), і тоді $S = v_0 t \cos \alpha$, де t - час польоту тіла.

Висота підняття тіла

$$h = v_0 \frac{t}{2} - \frac{g \left(\frac{t}{2} \right)^2}{2}$$

тому, що рух в цьому напрямі рівносповільнений.

$\frac{t}{2}$ - час підняття тіла.

З рисунка видно, що $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$, тоді

$$h = \frac{t}{2} v_0 \sin \alpha - \frac{gt^2}{8}.$$

Прирівнявши згідно з умовою задачі S і h , одержимо:

$$v_0 t \cos \alpha = \frac{t}{2} v_0 \sin \alpha - \frac{gt^2}{8}.$$

Час t можна визначити із умови

$$v_0 = v_{0y} - g \frac{t}{2} = 0, \quad v_{0y} = g \frac{t}{2},$$

$$t = \frac{2v_{0y}}{g} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}.$$

Підставивши значення t в рівність

$$v_0 t \cos \alpha = \frac{t}{2} v_0 \sin \alpha - \frac{gt^2}{8},$$

одержимо:

$$\frac{v_0 \cos \alpha \cdot 2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{2g} v_0 \sin \alpha - \frac{g4v_0^2 \sin^2 \alpha}{8g^2}$$

З останньої рівності

$$4 \cos \alpha = \sin \alpha \quad \text{або} \quad \operatorname{tg} \alpha = 4$$

одержимо $\alpha \approx 76^\circ$.

Відповідь: для того, щоб дальність польоту дорівнювала висоті підняття, тіло потрібно кинути під кутом $\approx 76^\circ$ до горизонту.

2.1.17 Задачі для самостійних вправ

Рівень-1

2.1.17.1 Електропотяг, відійшовши від станції, перші 100 м шляху проходить за 10 с, а наступні 340 м за 12 с. Яка середня швидкість руху електропотягу? (Відповідь: 20 м/с).

2.1.17.2 З вікна стоячого вагона спостерігають за рухом потягу. Визначити довжину потягу, якщо час проходження його повз вікно спостерігача 1хв. Швидкість потягу 36 км/год. Рух потягу вважати рівномірним. (Відповідь: 600 м).

2.1.17.3 Ширина озера 200 м. Швидкість човна під дією зусиль весляра 2 м/с. За який час весляр перепливе озеро, рухаючись рівномірно і перпендикулярно до берега? (Відповідь: 100с).

2.1.17.4 Швидкість течії води 1 м/с, а швидкість човна в стоячій воді 2 м/с. Яка швидкість човна відносно берега, якщо човен пливе в напрямі течії? (Відповідь: 3 м/с).

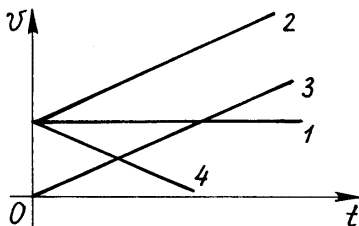


Рисунок 2.22

2.1.17.5 Автомобіль, рухаючись від зупинки рівноприскорено, за 20 с досягає швидкості 15 м/с. З яким прискоренням рухався автомобіль? (Відповідь: $0,75 \text{ м/с}^2$).

2.1.17.6 Мотоцикліст почав рухатися з прискоренням $0,7 \text{ м/с}^2$. Який шлях він пройде за 20 с від початку руху? (Відповідь: 140 м).

2.1.17.7 Які рухи зображені на рисунку 2.22? (Відповідь: 1 – рівномірний; 2 – рівноприскорений з початковою швидкістю; 3 – рівноприскорений без початкової швидкості; 4 – рівносповільнений).

2.1.17.8 З аеростата, який знаходиться на висоті 180 м, випав баласт. Через скільки секунд баласт досягне поверхні Землі? (Відповідь: 6 с).

2.1.17.9 Тіло, рухаючись рівноприскорено, зі стану спокою за 10 с пройшло шлях 50 м. З яким прискоренням рухалось тіло? (Відповідь: 1 м/с^2).

2.1.17.10 Раптово загальмувавши, автомобіль зменшив свою швидкість від 72 км/год до нуля за 5 с. З яким прискоренням рухався автомобіль? (Відповідь: 4 м/с^2).

2.1.17.11 Який шлях пройде тіло за 10 с, рухаючись рівноприскорено з прискоренням 2 м/с^2 , якщо початкова швидкість руху тіла 2 м/с. (Відповідь: 120 м).

2.1.17.12 З якої висоти впало тіло, якщо час його вільного падіння 10 с? (Відповідь: 500 м).

2.1.17.13 З будинку протягом 3 с вільно падає тіло. Яка швидкість тіла в момент удару його об Землю? (Відповідь: 30 м/с).

2.1.17.14 Тіло, кинуте вертикально вгору з швидкістю 20 м/с, піднімалось 1 с. На яку висоту піднялось тіло? (Відповідь: 15 м).

2.1.17.15 З аеростата вертикально вниз кинули тіло з швидкістю 10 м/с. На якій висоті знаходився аеростат, якщо тіло падало протягом 2 с? (Відповідь: 40 м).

2.1.17.16 З вежі висотою 20 м кинули горизонтально м'яч. Через скільки часу він впаде на Землю? (Відповідь: 2 с).

2.1.17.17 Камінь, прив'язаний до кінця нитки, рухається по колу з швидкістю 1 м/с. З яким доцентровим прискоренням рухається камінь, якщо довжина нитки 1 м, а кут між ниткою і вертикаллю дорівнює 30° ? (Відповідь: 2 м/с²).

2.1.17.18 Велосипедист рухається з швидкістю 4 м/с. З якою кутовою швидкістю обертаються колеса велосипеда, якщо радіус колеса 0,4 м? (Відповідь: 10 рад/с).

Рівень-2

2.1.17.19 Першу половину шляху автомобіль проходить за $\frac{2}{5}$ год, а другу половину шляху за $\frac{1}{2}$ год. Визначити середню швидкість (в км/год) руху автомобіля на всьому шляху, який дорівнює 63 км. (Відповідь: 70 км/год).

2.1.17.20 Літак в момент приземлення мав швидкість 63 м/с і через 1,5 хв зупинився. З яким прискоренням рухався літак і який шлях він проїхав до зупинки? (Відповідь: 0,7 м/с², 2835 м).

2.1.17.21 Тіло з стану спокою рухається зі сталим прискоренням 2 м/с². Визначити шлях, пройдений тілом за четверту секунду свого руху. (Відповідь: 7 м).

2.1.17.22 Тіло впало з висоти 245 м. Який шлях воно пройшло за останню секунду падіння. (Відповідь: 65 м).

2.1.17.23 М'яч, кинутий вертикально вгору, повернувся у вихідну точку через 6 с. З якою швидкістю був кинутий м'яч? (Відповідь: 30 м/с).

2.1.17.24 Куля і звук від вертикального пострілу одночасно досягають висоти 660 м. Визначити початкову швидкість кулі. Швидкість звуку вважати рівною 330 м/с. (Відповідь: 340 м/с).

2.1.17.25 Людина, перебуваючи на вершині вежі заввишки 25 м, кидає вниз камінь з швидкістю 10 м/с. Через скільки часу камінь досягне поверхні Землі? (Відповідь: $\approx 1,45$ с).

2.1.17.26 Камінь, кинутий горизонтально з висоти 10 м, впав на Землю на відстані 5 м по горизонталі від місця кидання. З якою початковою швидкістю він був кинутий? (Відповідь: 3,6 м/с).

2.1.17.27 Куля вилітає з гармати з початковою швидкістю 100 м/с під кутом 30° до горизонту. Скільки часу куля знаходилась в повітрі? Гармата і точка приземлення кулі знаходились на одній прямій. (Відповідь: 10 с).

2.1.17.28 Секундна стрілка годинника має довжину 3,5 см. Який шлях пройде кінець стрілки за дві хвилини? (Відповідь: $0,14 \cdot \pi$ м).

2.1.17.29 Радіус одного колеса 20 см, другого 40 см, а лінійні швидкості найбільш віддалених від осі точок відповідно рівні 5 м/с і 10 м/с. У скільки разів доцентрове прискорення точок одного колеса більше від другого? (Відповідь: 2).

Рівень-3

2.1.17.30 Першу половину шляху автомобіль рухався з швидкістю 72 км/год, а другу з швидкістю 36 км/год. Визначити середню швидкість руху автомобіля на всьому шляху. (Відповідь: $\approx 13,3$ м/с).

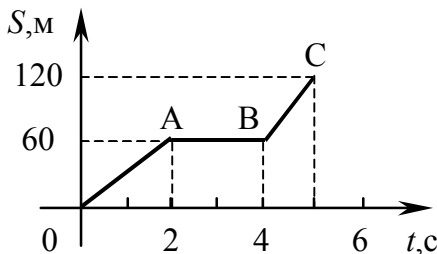


Рисунок 2.23

2.1.17.31 На рис. 2.23 зображено графік залежності шляху від часу. Протягом якого часу тіло перебуває в стані

спокою? Котра із ділянок ОА, АВ чи ВС відповідає найбільшій швидкості? Яка середня швидкість на шляху 120 м? (Відповідь: 2 с, ВС, 24 м/с).

2.1.17.32 Відстань між двома містами А і В дорівнює 240 км. Одночасно з обох міст назустріч виїжджають два автомобілі. Автомобіль, що виїхав з міста А, рухається з швидкістю 72 км/год, а з міста В – з швидкістю 36 км/год. Через який час вони зустрінуться? Рух автомобілів вважати рівномірним. (Відповідь: $8 \cdot 10^3$ с).

2.1.17.33 Через річку переправляється човен, що витримує курс, перпендикулярний до течії. Швидкість човна в стоячій воді 1,4 м/с, швидкість течії 0,7 м/с, ширина річки 308 м. За скільки часу човен перепливе річку? На скільки метрів вода знесе човен? (Відповідь: 220 с, 154 м).

2.1.17.34 Літак піднімається з аеродрому під кутом 30° до горизонту з швидкістю 216 км/год. Визначити вертикальну і горизонтальну складові швидкості. На якій висоті буде літак через 10 с після початку піднімання? (Відповідь: 30 м/с; ≈ 51 м/с; 300 м).

2.1.17.35 Довести, що для рівноприскореного руху $v^2 - v_0^2 = 2aS$.

2.1.17.36 Під час рівноприскореного руху тіло проходить за перші два послідовні проміжки часу по 4 с кожний шлях, відповідно 24 м і 64 м. Визначити початкову швидкість тіла і прискорення, з яким рухається тіло. (Відповідь: 2,5 м/с², 1 м/с).

2.1.17.37 Чому дорівнює швидкість тіла при вільному падінні в кінці першої секунди руху і шлях пройдений цим тілом за другу секунду? (Відповідь: 10 м/с, ≈ 15 м).

2.1.17.38 Два тіла кинуті одночасно назустріч одне одному з початковою швидкістю 80 м/с, одне вертикально вгору, друге – вертикально вниз з точки найвищого підйому першого тіла. На якій висоті і через який час ці тіла зустрінуться? Яку швидкість вони матимуть у момент зустрічі? (Відповідь: 2 с, 140 м, 60 м/с, 100 м/с).

2.1.17.39 З висоти 1,8 м горизонтально кинули м'яч з швидкістю 6 м/с. Який кут з горизонтом утворює його швидкість в момент падіння на Землю? (Відповідь: $\approx 45^\circ$).

2.1.17.40 З двох труб, розміщених на одному рівні, з однаковою швидкістю витікає вода відповідно під кутом 60° і 30° до горизонту. Визначити відношення висот максимального підняття води і дальностей падіння її на Землю. (Відповідь: 3, 1).

2.1.17.41 М'яч кинули під кутом 60 градусів до горизонту. Через $\sqrt{3}$ секунд кут напрямку швидкості м'яча зменшується до 30 градусів. Яка була його початкова швидкість? (Відповідь: 30 м/с).

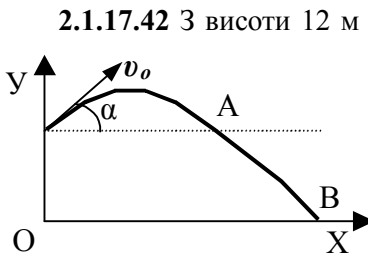


Рисунок 2.24

2.1.17.42 З висоти 12 м кинули тіло під кутом 30° до горизонту з початковою швидкістю 12 м/с. Визначити тривалість польоту від точки А до точки В (рис. 2.24), максимальну висоту підняття тіла над горизонтом та

дальність польоту. Опір повітря не враховувати. (Відповідь: 1,07 с, 13,84 м, 23,8 м).

2.1.17.43 З палуби корабля, що рухається прямолінійно рівномірно з швидкістю 10 м/с, зроблений постріл з гармати в напрямі руху. На якій відстані від місця пострілу впаде куля і яку вона буде мати швидкість в момент падіння? Швидкість кулі в момент пострілу утворює кут 45° з горизонтом, а її величина 200 м/с. Який кут утворює швидкість кулі з горизонтом в момент удару її об Землю? (Відповідь: 4280 м, ≈ 205 м/с, $\approx 45^\circ$).

2.1.17.44 Екваторіальний радіус Землі дорівнює 6380 км. З якою швидкістю рухаються точки екватора під час обертання Землі навколо своєї осі? (Відповідь: ≈ 1670 км/год).

2.1.17.45 Шків обертається з кутовою швидкістю 60 рад/с. Визначити доцентрове прискорення точок, які перебувають на відстані 250 мм від осі обертання. (Відповідь: 90 м/с^2).

2.1.17.46 На токарному верстаті потрібно обточити вал діаметром 25 см. З якою кутовою швидкістю повинен обертатися вал, щоб швидкість різання була 60 м/хв? (Відповідь: 8 1/с).

2.1.17.47 Вал двигуна автомобіля з допомогою пасової передачі обертає шків генератора і вентилятора. З якою кутовою швидкістю обертаються шків, якщо діаметри вала і шківів відповідно дорівнюють 9 см, 7 см і 6 см? Кутова швидкість вала двигуна 180 1/с. (Відповідь: $\approx 231 \text{ 1/с}$, 270 1/с).

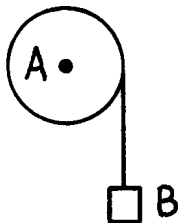


Рисунок 2.25

2.1.17.48 Шків А (рис. 2.25) радіусом 20 см приводиться в обертний рух вантажем В, підвішеним на нитці, яка поступово розмотується з шківів. В початковий момент вантаж був нерухомий, а потім почав опускатися з прискоренням 2 см/с^2 . Визначити кутову швидкість шківів і доцентрове прискорення в той момент, коли вантаж пройде шлях 10 см.

(Відповідь: $0,33 \text{ 1/с}$, $\approx 0,02 \text{ м/с}^2$).

2.2 ОСНОВИ ДИНАМІКИ. ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ В МЕХАНІЦІ

Динаміка – підрозділ механіки, в якому рух матеріальних об'єктів вивчається з урахуванням їхніх взаємодій. Іншими словами, динаміка дає відповідь на запитання: “чому тіло рухається”.

Динаміка, як і кінематика, поділяється на класичну, релятивістську і квантову. В основі класичної механіки лежать три закони Ньютона.

2.2.1 Перший закон Ньютона. Інерціальна система відліку

Існують системи, в яких тіла знаходяться в стані

спокою, або в стані рівномірного прямолінійного руху, якщо на них не діють інші тіла або їх дія компенсується.

Системи, в яких виконується перший закон Ньютона, називаються *інерціальними* (див. 2.1.3).

Властивість тіл зберігати стан спокою або стан рівномірного прямолінійного руху називають *інерцією*.

2.2.2 Маса тіла

Маса – скалярна фізична величина, яка характеризує одночасно гравітаційні та інерційні властивості матерії.

Маса

тіла входить у формулу другого закону Ньютона, характеризує динамічні властивості і є мірою інерційності тіла. Як міру гравітаційних властивостей масу тіла визначають на основі закону всесвітнього тяжіння. Одиницею вимірювання маси в SI є кілограм (див. 1.7.), тобто $[m] = \text{кг}$.

Густина (щільність) – це є маса одиниці об'єму речовини і визначається відношенням маси тіла до його

об'єму: $\rho = \frac{m}{V}$. Одиницею вимірювання густини є кг/м^3 ,

$[\rho] = \text{кг} / \text{м}^3$.

2.2.3 Сила. Рівнодійна сила

Сила – векторна величина, яка є мірою взаємодії матеріальних тіл, в результаті якої змінюється рух і стан тіла, тобто тіла набувають прискорення і деформуються.

На рисунку сила зображується вектором.

Сила в системі SI вимірюється в ньютонах (Н – похідна одиниця). Ньютон – сила, під дією якої тіло масою 1

кг рухається з прискоренням 1 м/с^2 . $[F] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} = \text{Н}$.

На тіло можуть діяти декілька тіл, кожному з яких відповідає певна сила. Дію декількох сил можна замінити однією.

Силу, яка спричиняє таку саму дію на тіло, як декілька сил разом взятих, називають *рівнодійною*.

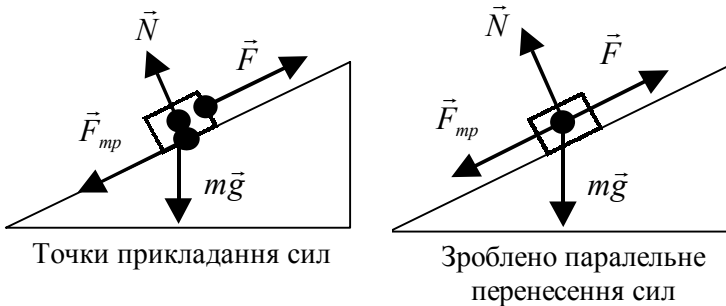


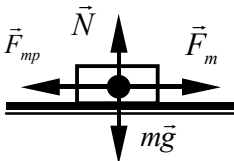
Рисунок 2.26

Для визначення величини та напрямку рівнодійної або для розкладу рівнодійної на складові користуються правилами операцій над векторами (рис. 1.1-1.6). На рисунку вектори сил, як і будь-які вектори, можна вільно переміщувати в просторі чи площині паралельно самим собі. Таке перенесення векторів часто використовують в механіці, наприклад: силу реакції $\vec{N}$, силу тертя $\vec{F}_{mp}$, силу тяги $\vec{F}$ та силу тяжіння переносять для зручності так, щоб їх початки були в одній точці (рис. 2.26), як правило, - в центрі тяжіння (мас).

2.2.4 Другий закон Ньютона

Другий закон Ньютона, як і перший, виконується в інерціальній системі відліку.

Прискорення, з яким рухається тіло, прямопропорційне векторній сумі діючих на тіло сил, обернено пропорційне масі тіла і напрямлене в сторону рівнодійної



(зроблене паралельне перенесення сил)

Рисунок 2.27

сили: $\vec{a} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{F}_i}{m}$, або $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ ($\vec{F}$ - результуюча сила).

Часто другий закон Ньютона записують так: $\vec{F} = m\vec{a}$.

Зверніть увагу на те, що $\vec{F}$ -

результуюча сила, тому для випадку, коли на тіло діють сили (рис. 2.27): $\vec{N}$ - реакція опори, $\vec{F}_{mp}$ - сила тертя, $m\vec{g}$ - сила тяжіння, $\vec{F}_m$ - сила тяги, другий закон Ньютона запишеться так:

$$\vec{F}_m + \vec{F}_{mp} + m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a},$$

або

$$\vec{F} = m\vec{a},$$

але

$$\vec{F} = \vec{F}_m + \vec{F}_{mp} + m\vec{g} + \vec{N}.$$

2.2.5 Третій закон Ньютона

Якщо одне тіло діє на друге, то друге діє на перше, причому ці дії рівні за величиною і протилежні за напрямом. Закон рівності дії і протидії і є **третім законом Ньютона**.

Сили з якими взаємодіють тіла, завжди рівні за величиною і протилежні за напрямом:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2.$$

Зверніть особливу увагу на те, що сили ($\vec{F}_1; \vec{F}_2$) прикладені до різних тіл, а, значить, вони не зрівноважуються (рис. 2.28).

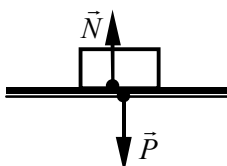


Рисунок 2.28

$\vec{P}$ - сила, з якою тіло тисне на поверхню, - вага тіла. Точка прикладання її лежить на поверхні опори. $\vec{N}$ - реакція опори – сила, з якою згідно з третім законом Ньютона поверхня діє на тіло.

Точка прикладання цієї сили лежить на тілі.

2.2.6 Сила тяжіння. Вага тіла. Закон всесвітнього тяжіння

Взаємодія між тілами здійснюється не тільки через дотик, але і на відстані. Одним із прикладів взаємодії на відстані є гравітаційна взаємодія. Ця взаємодія здійснюється

через поле, яке називають гравітаційним полем (поле тяжіння). Поле, яке існує навколо всякого тіла через яке здійснюється взаємодія, називається гравітаційним (тяжіння).

Зверніть особливу увагу на те, що ця взаємодія є однією із чотирьох видів фундаментальних взаємодій і відзначається малою інтенсивністю, необмеженим радіусом дії, універсальністю (охоплює всі види речовин). Постулюється, що ця взаємодія передається миттєво. Теорія цієї взаємодії ґрунтується на ньютонівському законі всесвітнього тяжіння:

Дві матеріальні точки (тіла) з масами m_1 і m_2 , відстань між якими R , притягуються одна до одної з силою F , напрямленою вздовж лінії, яка проходить через центри мас, пропорційною добутку їх мас і обернено пропорційною квадрату відстані між ними:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2},$$

де G - гравітаційна стала.

$$G = 6,672 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{с}^2 \cdot \text{кг}}$$

(пригадайте дослід Кавендіша).

Підсумовуючи, можна сказати, що навколо всякого тіла існує гравітаційне поле, через яке здійснюється взаємодія з іншими тілами, а значить на тіла, що перебувають

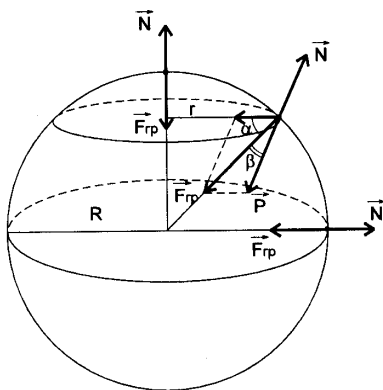


Рисунок 2.29

в полі Землі, діють сили. Ці сили називають силами гравітації. Величина цих сил визначається законом всесвітнього тяжіння. Крім сили гравітаційної взаємодії, користуються такими поняттями, як вага тіла і сила тяжіння.

Вага – сила, з якою тіло внаслідок притягання до Землі діє у вертикальному напрямі на підставку або підвіс.

Якщо підставка чи підвіс позбавлені прискореного руху у вертикальному напрямі, то вага $\vec{P}$ чисельно дорівнює складовій сили гравітаційної взаємодії - $\vec{F}_{ep}$ між тілом А і Землею (рис. 2.29).

Зверніть особливу увагу на те, що на тіло, яке лежить на поверхні Землі, діє сила гравітаційної взаємодії $\vec{F}_{ep}$ і сила реакції опори $\vec{N}$. Результируюча (рівнодійна) цих сил, згідно з рівнянням руху, дорівнює добутку маси тіла, що рухається разом з Землею, на прискорення, з яким воно рухається по колу. Згідно з рівнянням руху (другий закон Ньютона)

$$\vec{N} + \vec{F}_{ep} = m\vec{a}_g, \text{ де } a_g = \frac{v^2}{r}, \vec{v} - \text{лінійна швидкість}$$

тіла, r - радіус кола (широтний радіус). Радіус r можна виразити через радіус Землі R і широтний кут α . Лінійну швидкість можна виразити через кутову швидкість обертання Землі, і тоді $a_g = \omega^2 \cdot r = \omega^2 \cdot R \cdot \cos \alpha$, тому що $r = R \cdot \cos \alpha$ (рис. 2.29), де α - географічна широта.

З рівняння руху, враховуючи те, що

$$a_g = \omega^2 \cdot r = \omega^2 \cdot R \cdot \cos \alpha,$$

видно, що величина реакції опори змінюється із зміною географічної широти. З рис. 2.29 видно, що сила реакції земної поверхні $\vec{N}$ зрівноважує не силу гравітаційної взаємодії $\vec{F}_{ep}$, а тільки її складову $\vec{P} = m\vec{g}$. Ця складова і носить назву **сили тяжіння**.

З рисунка 2.29 також видно, що для всіх точок земної поверхні, крім полюсів і екватора, вектор сили тяжіння не напрямлений до центра Землі, а утворює з радіусом Землі кут β . Сила гравітаційної взаємодії $\vec{F}_{ep}$ і сила тяжіння $m\vec{g}$ рівні між собою тільки в двох точках земної кулі – на полюсах

($\alpha = 90^\circ$ і $N = F_{cp}$). Найменше значення сила тяжіння має на екваторі ($\alpha = 0^\circ$).

Зверніть увагу і на те, що точка прикладання сили тяжіння лежить в центрі тіла, а точка прикладання ваги тіла – на підставці або підвісі. Значення сили гравітаційної взаємодії обернено пропорційне квадрату радіуса Землі, який внаслідок сплюснутості Землі менший для полюса і більший для екватора, тому воно буде більшим на полюсі і меншим на екваторі. Цю різницю можна зафіксувати пружним динамометром. Сила тяжіння спричинює вільне падіння незакріпленого тіла з прискоренням g (згідно з другим законом Ньютона $\vec{P} = m\vec{g}$) або тисне на підставку чи розтягує підвіс, які перешкоджають вільному падінню його.

Зверніть особливу увагу на те, що гравітаційна сила – це міра взаємодії будь-яких тіл, зумовлена їхніми масами; сила земного тяжіння – це сила, з якою Земля притягує тіла в результаті цієї взаємодії і її обертового руху, а вага тіла – це сила, з якою тіла діють на опору або підвіс внаслідок дії на них сили тяжіння.

2.2.7 Невагомість

Якщо підставка чи підвіс рухається з прискоренням $\vec{a}$ у вертикальному напрямі (рис. 2.30), то згідно з другим законом Ньютона $\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}$.

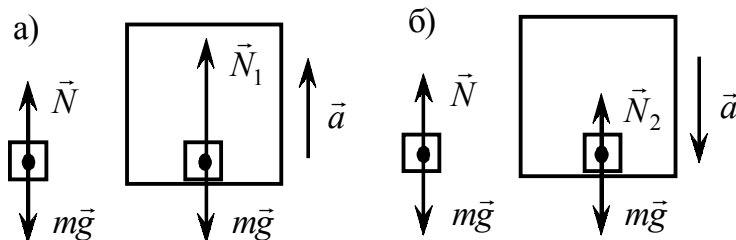


Рисунок 2.30

Якщо підставка чи підвіс знаходяться в стані спокою, або стані рівномірного прямолінійного руху, то $\vec{a} = 0$ і $N = mg$. Для випадку, коли підставка рухається вгору (рис. 2.30, а), $N = mg + ma$. В цьому випадку тіло тиснучиме на

підставку або розтягуватиме підвіс з силою, яка перевищує mg на ma . Тоді кажуть, що тіло знаходиться в стані перевантаження. Якщо тіло рухається вниз (рис. 2.30, б) з прискоренням $\vec{a}$, то $N = mg - ma$ і для випадку $g = a$ $N = 0$. Такий стан називають невагомістю, тобто, якщо на тіло, крім сили тяжіння, не діють інші сили, то воно не тисне на підставку або не розтягує підвіс. В стані невагомості перебуває тіло при вільному падінні, при вільному русі навколо Землі з першою космічною швидкістю.

Зверніть увагу на те, що у системі, яка знаходиться в стані невагомості, спостерігаються такі явища: математичний маятник зависає у відхиленому стані; зникає архімедова сила в рідині; змочуюча рідина розтікається по посудині, а всередині її міститься повітря; незмочуюча рідина набуває форми кулі; тіло, підвішене на пружині, не деформує її; предмети (і людина) “плавають” у довільному положенні. Штучне тяжіння на супутнику можна створити, надаючи йому обертання (сила “тяжіння” – сила, що виникає в результаті обертowego руху тіла, напрямлена в напрямі від осі обертання).

2.2.8 Перша космічна швидкість. Рух штучних супутників Землі

Космічні швидкості – характерні швидкості руху тіла в гравітаційному полі. **Перша** з них – це швидкість, яку треба надати тілу, щоб воно стало супутником Землі. Числове значення першої космічної швидкості v_1 визначається з умови, що сила тяжіння mg дорівнює

доцентровій силі $F_g = \frac{mv_1^2}{h + R}$, де m - маса тіла, R - радіус

Землі. З цієї умови *перша космічна швидкість* супутника, який рухається по коловій орбіті поблизу земної поверхні

($h \ll R$, $g \approx 9,8 \frac{m}{c^2}$):

$$v_1 = \sqrt{gR} \approx 7,9 \frac{км}{с}.$$

Друга космічна швидкість v_2 необхідна тілу, щоб воно вийшло із сфери впливу земного тяжіння і стало супутником Сонця. Її значення знаходять з умови, що набута

тілом кінетична енергія $T = \frac{mv_2^2}{2}$ дорівнює роботі проти гравітаційних сил:

$$A = G \frac{mM_3}{R},$$

тоді $v_2 = \sqrt{\frac{2GM_3}{R}} \approx \sqrt{2gR} \approx 11,2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$. Маючи *третю*

космічну швидкість v_3 , тіло, запущене з поверхні Землі, зможе подолати силу тяжіння і Землі, і Сонця. Її числове значення залежить від напрямку запуску тіла: мінімальне – 17 км/с, максимальне – 73 км/с.

Штучні супутники запускаються з метою вивчення космічного простору, польотів на інші планети, здійснення зв'язку і ін.

2.2.9 Сила пружності. Закон Гука

Як вже було сказано, сила – не тільки міра взаємодії, в результаті якої змінюється швидкість руху тіл, але й міра взаємодії, в результаті якої змінюється форма чи розміри тіла, тобто тіла деформуються. Деформація може бути пружною і пластичною.

Якщо тіло після взаємодії з іншими тілами відновлює свою форму і розміри, то деформацію називають *пружною*.

Якщо тіло після взаємодії з іншими тілами не відновлює своїх розмірів і форми та зберігає форму, яку воно одержало при взаємодії, то деформацію називають *пластичною*.

Сила пружності – це сила, що виникає під час деформації тіла і напрямлена в сторону, протилежну напрямку зміщення частинок в процесі деформації.

Зв'язок між силою пружності і величиною деформації в межах пружності тіла встановлений Гуком в 1660 р.:

Сили, що виникають в процесі пружної деформації прямо пропорційні величині цієї деформації і

напрявлені в сторону її зменшення: $F_n = -kx$,

де F_n - сила пружності, x - величина деформації (зміщення), k - коефіцієнт жорсткості (різний для різних матеріалів).

Сила розтягу чи стиску, прикладена до тіла у формі стержня, розтягує його або стискує на якусь величину Δl . Величина Δl (абсолютне видовження) залежить від початкових розмірів стержня, матеріалу, з якого виготовлений стержень, і величини прикладеної сили:

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l}, \text{ або } \sigma = E \cdot \varepsilon, \text{ де } \sigma = \frac{F}{S} - \text{напруга, } S - \text{площа}$$

перерізу стержня, F - прикладена сила, $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ - відносне

видовження, E - модуль пружності (модуль Юнга). Для різних речовин модуль Юнга має різне значення. Величина α , обернено пропорційна модулю Юнга, називається

коефіцієнтом пружності $\frac{1}{E} = \alpha$; $[\alpha] = \frac{m^2}{H}$.

Для характеристики деформації в механіці користуються такими поняттями:

а) напруга межі пружності (σ_n) – напруга, після зняття якої в тілі ще не спостерігається залишкова деформація;

б) напруга межі міцності (σ_m) – напруга, при прикладанні якої тіло ще не руйнується (має місце залишкова деформація).

в) запас міцності (коефіцієнт безпеки $n = \frac{\sigma_m}{\sigma_\delta}$)

показує, у скільки разів напруга межі міцності більша від допускної напруги.

Зверніть увагу на те, що на основі напруги межі міцності, маючи значення коефіцієнта безпеки (запасу міцності), можна розрахувати величину допустимого навантаження для даного матеріалу.

2.2.10 Сила тертя. Коефіцієнт тертя ковзання

Сила, що протидіє взаємному переміщенню тіл або зрушенню тіл з місця, називається силою тертя.

Тертя спокою – тертя, яке існує між дотичними поверхнями, коли відсутнє їх відносне переміщення.

Зверніть увагу на те, що сила тертя завжди напрямлена в сторону, протилежну до напрямку руху. Сила тертя ($\vec{F}_{тр}$) пропорційна силі нормального тиску (F_n):

$F_{тр} = \mu F_n$, де μ – коефіцієнт тертя. Коефіцієнт тертя ковзання може змінюватися залежно від шорсткості взаємодіючих поверхонь і плівок, якими покривають ці поверхні. Коефіцієнт тертя – безрозмірна величина.

Завжди потрібно пам'ятати, що в одних випадках стараються зменшити силу тертя, використовуючи для цього різні способи (мастила, чистоту поверхні і ін.), в інших – збільшити (посипання дороги піском, натирання пасів каніфоллю і ін.).

При аналізі сил між взаємодіючими тілами потрібно звертати увагу на напрям і точку прикладання сили тертя, сили тяжіння, сили тяги, сили реакції і ін. (рис. 2.31).

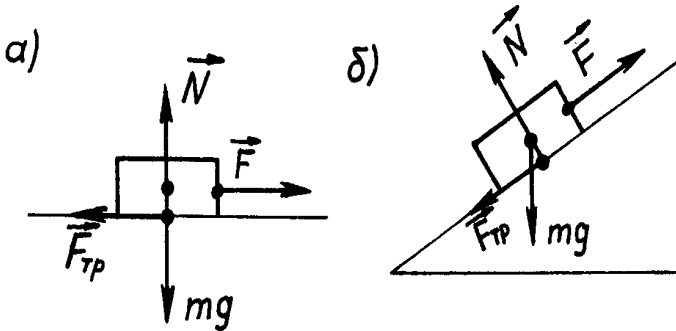


Рисунок 2.31

$\vec{F}$ - сила, що спричиняє рух тіла (рушійна сила); $\vec{F}_{тр}$ - сила тертя; $m\vec{g}$ - сила тяжіння; $\vec{N}$ - реакція опори (рис. 2.31, а). $\vec{F}$ - сила, що спричиняє рух тіла; $\vec{F}_{тр}$ - сила тертя; $m\vec{g}$ - сила тяжіння; $\vec{N}$ - реакція опори (рис. 2.31, б).

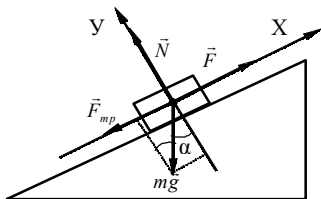


Рисунок 2.32

Як вже було сказано (див. 2.2.3), сили для зручності можна паралельно переносити так, щоб вони виходили з однієї точки (рис. 2.32). Рівняння руху для такого випадку запишеться так:

$$\vec{F}_{mp} + \vec{F} + \vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}.$$

Визначаючи проекції цього рівняння на координатні осі, можна визначити невідомі в умові задачі сили або для відомих сил – прискорення, з яким рухається тіло і ін.

2.2.11 Поняття про сили інерції

З другого закону Ньютона відомо, що прискорення, з яким рухається тіло, є результат дії сили і завжди напрямлене в напрямі її дії. Існують сили, які дістали назву *сил інерції*.

Сили інерції виникають тільки в неінерціальних системах відліку. Напрямок цих сил протилежний напрямку прискорення, з яким рухається система. Ці сили не є результатом взаємодії тіл, а є результатом руху.

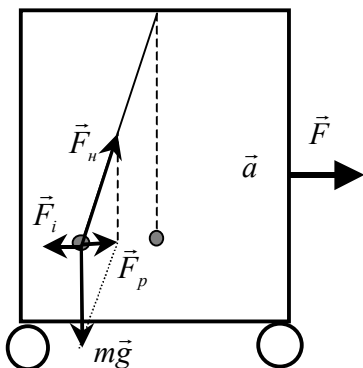


Рисунок 2.33

Завжди потрібно чітко усвідомлювати, що сили, які спричиняють прискорений рух системи, і сили інерції, які виникають внаслідок цього руху, завжди рівні за величиною і протилежні за напрямом (рис. 2.33):

$$\vec{F}_p = -\vec{F}_i,$$

$\vec{F}$ - сила, що надає візку прискорення;

$\vec{F}_p$ - результуюча сил натягу і тяжіння;

$\vec{F}_i$ - сила інерції;

m - маса тіла;

$\vec{a}$ - прискорення, з яким рухається система.

2.2.12 Архімедова сила. Гідростатичне зважування.

Умови плавання

Тиском називається фізична величина, що дорівнює силі, яка діє на одиницю площі поверхні в перпендикулярному до неї напрямі: $P = \frac{F}{S}$,

де F – сила; S - площа поверхні. В системі SI тиск вимірюється в паскалях $[p] = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}$.

Б.Паскалем сформульований закон: *Тиск рідиною або газом передається в усіх напрямках без зміни.*

Посудини, сполучені між собою внизу, називають *сполученими посудинами*.

Однорідна рідина в сполучених посудинах встановлюється на одному рівні незалежно від форми посудини.

Занурене тіло в рідину чи газ втрачає частину своєї ваги. З боку рідини чи газу на занурене в них тіло завжди діє сила, напрямлена протилежно силі тяжіння. Величина цієї сили вперше визначена Архімедом.

На занурене в рідину чи газ тіло діє виштовхувальна сила, прикладена до центра маси тіла, напрямлена вертикально вгору, і дорівнює вазі рідини чи газу, витіснених цим тілом: $F_g = \rho g V$,

де F_g - виштовхувальна сила; ρ - густина рідини чи газу; g - прискорення вільного падіння; V - об'єм рідини чи газу, витіснений тілом.

Закон Архімеда – основа теорії плавання. Якщо виштовхувальна сила більша від ваги тіла, то тіло плаває на поверхні рідини ($F_g > mg$), якщо дорівнює, то плаває в рідині ($F_g = mg$) і якщо менша ($F_g < mg$), то тіло тоне.

Закон Архімеда використовується і для визначення густини твердого тіла. Для цього використовують гідростатичні терези, за допомогою яких, зважуючи тіло в повітрі і в воді, визначають густину тіла неправильної

геометричної форми. Якщо ρ_m - густина твердого тіла, ρ_p - густина рідини, в якій зважують тіло, P_n - вага тіла в повітрі, P_e - вага тіла в рідині, визначена при повному зануренні тіла, то $\rho_m = \frac{\rho_p \cdot P_n}{P_n - P_e}$ (рис. 2.34).

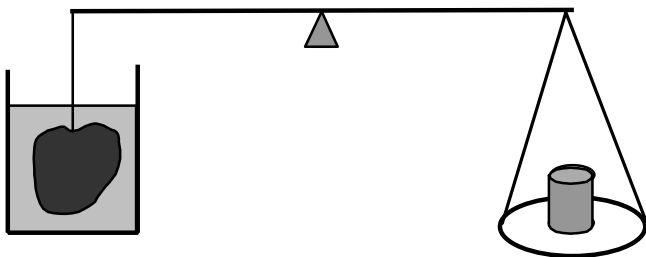


Рисунок 2.34

Зверніть увагу на те, що спочатку зважують тіло в повітрі, а потім в рідині (густину можна визначити тільки такого твердого тіла, яке тоне в рідині).

Гідростатичне зважування використовується і для визначення густини рідини.

Якщо ρ - невідома густина; ρ_1 - відома густина; P_n - вага твердого тіла в повітрі; P_{ρ_1} - вага твердого тіла в рідині, густину якої потрібно визначити; P_{ρ_2} - вага твердого тіла в рідині, густина якої відома, то $\rho = \rho_1 \frac{P_n - P_{\rho_1}}{P_n - P_{\rho_2}}$ (рис. 2.34 – тільки змінюють посудину з рідиною).

2.2.13 Момент сили. Умова рівноваги важеля

Момент сили – фізична величина, яка характеризує обертовий ефект сили під час її дії на тверде тіло.

Момент сили ($\vec{M}$) відносно осі обертання O дорівнює векторному добутку радіус-вектора $\vec{r}$,

проведеного з точки O до точки прикладання сили, на вектор сили $\vec{F}$: $\vec{M} = [\vec{r} \times \vec{F}]$ (рис. 2.35).

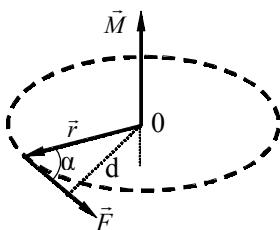


Рисунок 2.35

Часто визначення моменту сили дають і так: момент сили дорівнює добуткові плеча сили на величину сили. В цьому випадку мається на увазі, що плече сили – найкоротша відстань від осі обертання до напрямку сили: $d = r \cdot \sin \alpha$ (α – кут між радіус-вектором і

силою). Напрямок моменту сили визначається правилом правого гвинта (рис. 2.35):

Якщо напрям сили $\vec{F}$ співпадає з напрямом обертання правого гвинта, то поступальний рух гвинта вказує на напрям моменту сили.

Одиницею вимірювання моменту сили в системі SI є ньютон, помножений на метр (Н·м),

$$[\vec{M}] = H \cdot m = \frac{kg \cdot m^2}{s^2}.$$

На тіло, що може вільно обертатися навколо осі чи точки, можуть діяти декілька моментів сил (рис. 2.36, а, б).

Якщо вісь O нерухома, то умовою рівноваги тіла відносно неї є: сума моментів сил відносно осі обертання

$$\text{дорівнює нулю } \left(\sum_{i=1}^n \vec{M}_i = 0 \right).$$

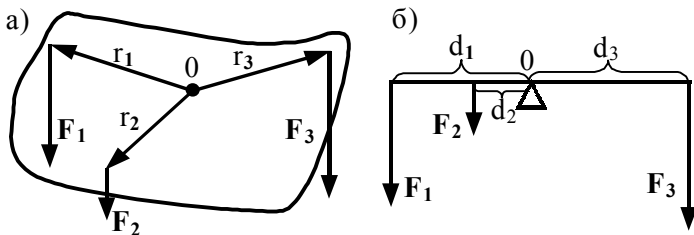


Рисунок 2.36

Загальною умовою рівноваги тіла відносно осі (точки) О є: $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$ і $\sum_{i=1}^n \vec{M}_i = 0$.

Складаючи рівняння умови рівноваги тіла, що має вісь (точку) обертання, потрібно пам'ятати, що моменти сил, напрямки яких співпадають з напрямком моменту сили, визначеного за правилом правого гвинта, беруть зі знаком “+”, а моменти сил, напрямки яких протилежний до напрямку, визначеного правилом правого гвинта, беруть зі знаком “-” (часто кажуть: за і проти стрілки годинника), наприклад: умовою рівноваги важеля відносно точки опори О є:

$$F_1 d_1 + F_2 d_2 = F_3 d_3 \text{ (рисунок 2.36, б)}$$

2.2.14 Кількість руху (імпульс). Закон збереження імпульсу

Імпульс (кількість руху) – фізична векторна міра механічного руху матеріальної точки або поступального руху тіла.

Для матеріальної точки імпульс ($\vec{p}$) визначається добутком її маси (m) на швидкість ($\vec{v}$): $\vec{p} = m\vec{v}$. Для великої кількості точок $\vec{p} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i$. Для абсолютно твердого тіла при поступальному русі: $\vec{p} = m\vec{v}_c$ (m - маса всього тіла, $\vec{v}_c$ - швидкість руху центра мас, тобто всього тіла).

Імпульс тіла (точки) під дією сили $\vec{F}$ змінюється за законом динаміки $\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t}$ або $\vec{F}\Delta t = \Delta(m\vec{v}) = \Delta \vec{p}$, де $\vec{F}\Delta t$ - імпульс сили, $\Delta \vec{p}$ - зміна імпульсу.

Зверніть увагу: в класичній механіці зміна імпульсу визначається тільки зміною швидкості ($\Delta p = m\Delta v$).

В системі SI імпульс вимірюється в кг·м/с,

$$[p] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

В механіці має велике значення закон збереження імпульсу.

Векторна сума імпульсів замкнутої системи (на яку не діють зовнішні тіла) залишається величиною сталою:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \text{const}$$

Зверніть увагу на те, що повний імпульс системи є сталою величиною, а значить, його зміна дорівнює нулю: $\Delta \vec{p} = 0$. Доведення цього закону пригадайте з шкільного курсу фізики.

Завжди потрібно пам'ятати, що тіла після взаємодії можуть рухатися окремо (*пружний удар*) і разом, як одне ціле (*непружний удар*). Для обох цих випадків закон збереження імпульсу запишеться так:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2' \quad (\text{пружний удар}),$$

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v} \quad (\text{непружний удар}),$$

де m_1 і m_2 - маси тіл; v_1 і v_2 - швидкості тіл до взаємодії; v_1' , v_2' і v - швидкості тіл після взаємодії.

Зверніть увагу на те, що для пружної взаємодії (абсолютно пружний удар) виконується закон збереження імпульсу і закон збереження механічної енергії, а для непружної (абсолютно neprужний удар) виконується закон збереження імпульсу і не виконується закон збереження механічної енергії в механічних процесах (частина механічної енергії перетворюється у внутрішню).

$$\text{Для пружного удару: } m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2'$$

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2},$$

$$\text{а для непружного удару: } m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}$$

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2} = W,$$

де W - внутрішня енергія.

2.2.15 Реактивний рух

*Рух, що виникає в результаті відділення від тіла його частини з деякою відносною швидкістю, називають **реактивним**.*

Основоположниками вивчення реактивного руху є М.І.Кибальчич – автор першого проекту реактивного літаючого апарата, К.Е.Ціолковський – заклав основи теорії

реактивних двигунів ($v_p = v_2 \ln \frac{m_2}{m_p}$, де v_p - швидкість

ракетки, v_2 - швидкість газів, що вилітають; m_2 - маса речовини, що згоріла; m_p - маса ракети), С.П.Корольов – автор конструкції ракет для космічних польотів, Ю.Кондратюк – автор проектів польотів на інші планети.

Реактивний рух пояснюється на основі закону збереження імпульсу. Нехай в деякий момент часу маса ракети разом з горючою речовиною дорівнює m , а швидкість її відносно Землі дорівнює v . При згорянні деякої кількості речовини ракета через час t_1 матиме масу m_1 і швидкість відносно Землі v_1 . Швидкість газів відносно ракети дорівнює u і напрямлена в протилежну сторону до напрямку руху ракети. Тоді швидкість газів відносно Землі в момент часу t_1 дорівнює різниці швидкості ракети в цей момент і швидкості газів, що вилітають, $v_{газ} = v_1 - u$.

Імпульс ракети в момент часу t_0 дорівнює $p_0 = mv$. В момент часу t_1 сумарний імпульс ракети і газів $p_1 = m_1v_1 + m_{газ}v_{газ} = m_1v_1 + (m - m_1)(v_1 - u)$. Оскільки ракета і гази утворюють замкнуту систему, то до неї можна застосувати закон збереження імпульсу: $mv = m_1v_1 + (m - m_1)(v_1 - u)$. Розкривши дужки, одержимо: $m(v_1 - v) = u(m - m_1)$. Але $v_1 - v = \Delta v$ - приріст швидкості; $\Delta m = m - m_1$ - маса речовини, що згоріла за час $\Delta t = t_1 - t_0$. Тоді $m\Delta v = \Delta mu$. Таким чином гази, що викидаються, призводять до збільшення швидкості руху

ракети, тобто діють на неї з деякою силою, яка називається *реактивною*. Щоб визначити її, скористаємося основним рівнянням динаміки (другий закон Ньютона). Поділимо

$$m\Delta v = \Delta m u \text{ на } \Delta t \text{ і отримаємо } \frac{m\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta m u}{\Delta t}.$$

Враховуючи те, що $\frac{m\Delta v}{\Delta t} = F$ - рушійна сила, а $k = \frac{\Delta m}{\Delta t}$ - швидкість

згоряння палива, одержимо: $F = ku$.

З цієї рівності випливає, що реактивна сила тяги пропорційна швидкості згоряння палива.

2.2.16 Механічна робота

Робота (A) – скалярна фізична величина, яка є мірою зміни енергії тіла.

Робота залежить від величини та напрямку сили і від переміщення тіла під дією цієї сили: $A = F \cdot S \cos \alpha$ (рис. 2.37).

Якщо $\alpha = 0$, то $A = F \cdot S$; якщо $\alpha = 90$, то $A = 0$.

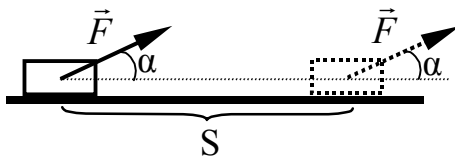


Рисунок 2.37

В системі SI робота вимірюється в джоулях,

$$[A] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2} = \text{Дж}.$$

Зверніть увагу на те, що робота може бути виконана силами різної природи: силами тертя, силою пружності, силою тяжіння і ін. Графічна залежність сили F від величини переміщення (стала сила) показана на рис. 2.38. Робота на цьому графіку зображується площею прямокутника ($A_1 = F_1 \cdot S_1$). Потрібно пам'ятати, що не вся виконана робота є корисною (A_K). Частина затраченої роботи йде на перемагання різного виду сил опору (тертя, опір повітря і ін.). Для того, щоб оцінити, яка частина

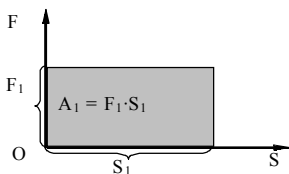


Рисунок 2.38

виконаної роботи (A_3) йде на користь, вводять коефіцієнт корисної дії:

$$\eta = \frac{A_K}{A_3} \cdot 100\%.$$

2.2.17 Потужність

Потужність – скалярна фізична величина, що вимірюється відношенням роботи до проміжку часу,

протягом якого вона виконана $P = \frac{A}{t}$.

Для випадку, коли швидкість тіла під час виконання над ним роботи не змінюється, $P = \frac{F \cdot S}{t} = F \cdot v$.

В системі SI потужність вимірюється в ватах (Вт)
 $[P] = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}} = \text{Вт}.$

Зверніть увагу на те, що за сталої потужності, зміна швидкості призводить до зміни сили (зменшення швидкості призводить до збільшення тягової сили і навпаки).

2.2.18 Кінетична енергія

Механічна енергія – здатність тіла виконати роботу.

Кінетична енергія матеріальної точки (тіла, системи) – фізична величина, яка є мірою її механічного руху і визначається роботою результуючої сили F , яка переміщує її в просторі: $W_k = A = F \cdot S$. Якщо тіло масою m із стану спокою набирає швидкості v , то механічна енергія тіла збільшується на величину

$$\Delta W_k = F \cdot S = m \cdot a \cdot S = m \cdot a \cdot \frac{v^2}{2 \cdot a} = \frac{m \cdot v^2}{2}.$$

Слід зауважити, що вимога, щоб рух був рівно змінним, не є обов'язковою. Величину виконаної над тілом роботи при його переміщенні з точки 1 в точку 2 можна визначити як різницю значень кінетичних енергій тіла в цих

точках: $A = F \cdot S_{12} = \frac{m \cdot v_2^2}{2} - \frac{m \cdot v_1^2}{2}$. Це співвідношення ще

називають *теоремою про зв'язок кінетичної енергії і роботи*.

Енергія, як і робота, в системі SI вимірюється в джоулях.

2.2.19 Потенціальна енергія

Щоб збільшити відстань між тілом і Землею або розтягнути чи стиснути пружину, потрібно виконати якусь роботу. Ця робота витрачається на придбання тілом енергії.

*Енергія, яку мають тіла або частини одного і того ж тіла внаслідок їх взаємного розміщення, називають **потенціальною енергією**.*

Потенціальна енергія – це частина загальної механічної енергії системи. Величина цієї енергії залежить від взаємного розміщення матеріальних точок як складових цієї системи і від положення у зовнішньому силовому полі (гравітаційному, електромагнітному і ін.). Потенціальна енергія має місце лише для консервативних систем, тобто систем, у яких робота діючих на тіло сил залежить лише від початкового і кінцевого положень системи.

Наприклад: потенціальна енергія тіла масою m в полі тяжіння $W_n = mgh$, а потенціальна енергія пружно-деформованого тіла (стиснутої або розтягнутої пружини)

$W_n = \frac{kx^2}{2}$, де k - коефіцієнт пружності, x - величина деформації.

Зверніть увагу на те, що робота, виконана силою тяжіння, $A = mg(h_1 - h_2)$, $h_2 < h_1$, а робота, виконана проти сили тяжіння, $A = mg(h_1 - h_2)$, $h_1 < h_2$, тобто в першому випадку потенціальна енергія зменшується, а в другому збільшується.

Потенціальна енергія, як і робота і кінетична енергія, вимірюється в джоулях.

2.2.20 Закон збереження механічної енергії

В замкнутій системі сума механічних видів енергій

залишається сталою: $W_n + W_k = W_{\text{пов}} = \text{const}$.

Довести цей закон можна на прикладі вільного падіння тіла.

Нехай тіло масою m знаходиться над поверхнею Землі на висоті h , тоді його $W_n = mgh$ (рис. 2.39).

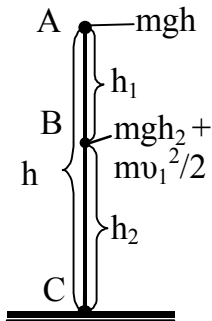


Рисунок 2.39

Під час вільного падіння через час t потенціальна енергія тіла в точці В стане рівною $W'_n = mgh_2$, бо частина її перетвориться в кінетичну $W'_k = \frac{mv_1^2}{2}$. Повна енергія в точці В

$$W = W'_n + W'_k = mgh_2 + \frac{mv_1^2}{2},$$

але $v_1 = gt$

$$h_1 = \frac{gt^2}{2} = \frac{g v_1^2}{2 g^2} = \frac{v_1^2}{2 g},$$

звідки $v_1^2 = 2gh_1$.

Тоді $W = mgh_2 + \frac{m 2gh_1}{2} = mg(h_1 + h_2) = mgh$,

бо $h = h_1 + h_2$, тобто повна енергія не змінилась. В точці С

$$mgh = \frac{mv_2^2}{2},$$

але $v_2^2 = 2gh$, тоді

$$mgh = \frac{m 2gh}{2} = mgh.$$

Це означає, що і в точці С повна енергія дорівнює mgh . Таким чином, під час вільного падіння тіла повна механічна енергія залишається незмінною.

2.2.21 Запитання для самоперевірки

Шановний читачу, перед тим, як приступити до розв'язування задач, постарайтесь дати відповіді на запитання:

1. Яке основне завдання динаміки?
2. Які системи відліку називають інерціальними?
3. Сформулюйте перший закон Ньютона.
4. Що таке інерція?
5. Чому поняття спокою і рівномірного прямолінійного руху відносні?
6. В чому суть принципу відносності Галілея?
7. Що розуміють під масою тіла і як її можна визначити?
8. Що таке густина?
9. Що таке сила і якими величинами вона характеризується?
10. В яких одиницях вимірюється маса і сила?
11. Яку силу називають рівнодійною, як її можна визначити і як її можна розкласти на складові?
12. Сформулюйте другий і третій закони Ньютона.
13. Які сили найчастіше зустрічаються в повсякденному житті людини?
14. Чим відрізняється пружна деформація від пластичної?
15. Для якої деформації виконується закон Гука і як він формулюється?
16. Яку силу називають силою тертя ковзання і від чого вона залежить?
17. Яку величину називають коефіцієнтом тертя ковзання і від чого вона залежить?
18. Які сили називають гравітаційними і за яким законом можна визначити їх величину?
19. Що розуміють під вагою тіла? Яка різниця між вагою тіла і силою тяжіння?
20. Що розуміють під перевантаженням і невагомістю, і за яких умов вони виникають?
21. За якої умови тіло може рухатися навколо Землі по коловій орбіті?
22. Що розуміють під першою, другою і третьою космічною швидкостями і як їх можна визначити?
23. Що таке механічна робота і від чого залежить її величина? В яких одиницях вимірюється робота?
24. Що таке потужність і в яких одиницях вона вимірюється?

25. Що потрібно розуміти під енергією і які є види механічної енергії? Дати визначення кінетичної і потенціальної енергії.

26. Що таке імпульс тіла і від чого залежить його величина?

27. Сформулюйте закон збереження імпульсу.

28. Який рух називається реактивним?

29. Що розуміють під моментом сили і яка умова рівноваги важеля?

2.2.22 Приклади розв'язування задач з динаміки

Задача першого рівня складності

1. Тіло масою 100 кг рівномірно ковзає по поверхні землі. Яка величина сили, прикладеної до тіла, якщо коефіцієнт тертя 0,2?

Дано:	Розв'язування
$m = 100 \text{ кг}$	З рисунка 2.40 видно, що на тіло діють:
$\mu = 0,2$	сила тяги $\vec{F}$, сила тертя $\vec{F}_{mp}$, сила реакції
$F = ?$	опори $\vec{N}$ і сила тяжіння $m\vec{g}$. Умовою рівномірного

руху тіла згідно з першим законом Ньютона є: $\vec{F}_{mp} + \vec{N} + \vec{F} + m\vec{g} = 0$. Визначимо проекції сил на вибрану вісь координат ОХ (вважаємо, що напрям руху співпадає з ОХ): $-F_{mp} + 0 + F + 0 = 0$ і $F = F_{mp}$. Відомо, що $F_{mp} = \mu mg$ для випадку, коли тіло рухається по горизонтальній поверхні, тоді $F = \mu mg$. Перевірка одиниць вимірювання: $[F] = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = \text{Н}$.

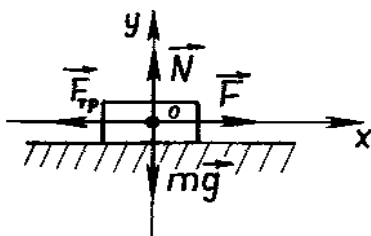


Рисунок 2.40

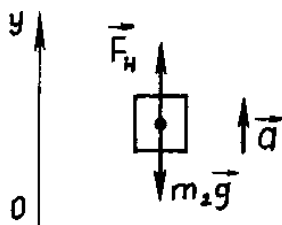


Рисунок 2.41

Підставивши числові значення, одержимо:

$$F = 0,2 \cdot 100 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 200 \text{ Н} = 0,2 \text{ кН}.$$

Відповідь: Для того, щоб тіло рухалось рівномірно, потрібно прикласти до нього силу 0,2 кН.

Задача другого рівня складності

1. Сталева дротина може витримати вантаж масою 440 кг. З яким найбільшим прискоренням можна піднімати тіло масою 390 кг, підвішене на цій дротині, щоб вона не розірвалась?

Дано:	Розв'язування
$m_1 = 440 \text{ кг}$	На тіло масою m , що рухається вертикально вгору з прискоренням a діють: сила натягу $\vec{F}_n$ і сила тяжіння $m\vec{g}$ (див. рис. 2.41). Згідно з другим законом Ньютона рівняння руху тіла $\vec{F}_n + m_2\vec{g} = m_2\vec{a}$.
$m_2 = 390 \text{ кг}$	
$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	
$a = ?$	

Спроектувавши це рівняння на вісь ОУ, напрям якої співпадає з напрямом руху, одержимо: $F_n - m_2g = m_2a$. З цього рівняння $a = \frac{F_n - m_2g}{m_2}$. Згідно з умовою задачі F_n - максимальна сила натягу, яку може витримати дротина. Її величина дорівнює m_1g . Тоді $a = \frac{(m_1 - m_2)g}{m_1}$. Перевірка

одиниць вимірювання: $[a] = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{\text{кг}} = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$

Підставивши числові значення, одержимо:

$$a = \frac{(440 \text{ кг} - 390 \text{ кг})10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{440 \text{ кг}} \approx 1,14 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Відповідь: Тіло може підніматися з прискоренням $1,14 \text{ м/с}^2$.

Задача третього рівня складності

1. На горизонтальному столі лежить куб масою M , шарнірно закріплений відносно прямої АВ (рис. 2.42). У куб

потрапляє і застрягає в ньому куля масою m , що летіла горизонтально. Визначити мінімальну швидкість v кулі, за якої куб перекинеться. Сторона куба a . Траєкторія руху кулі проходить через центр куба. Маса кулі значно менша від маси куба ($m \ll M$). Втратами енергії в шарнірі АВ знехтувати.

Дано:	Розв'язування
M	Щоб куб перекинувся, він повинен повернутися
m	навколо ребра АВ так, щоб його діагональна
a	площина стала вертикальною. Отже, піднімаючи
$v - ?$	центр маси куба О на висоту
	$h = \frac{a\sqrt{2}}{2} - \frac{1}{2}a = \frac{a}{2}(\sqrt{2} - 1)$, потрібно виконати

роботу $A = Mgh = Mg \frac{a}{2}(\sqrt{2} - 1)$ $\left(\frac{a\sqrt{2}}{2} - \text{половина}$

відрізка АД, $a/2$ - половина сторони куба, на цій висоті знаходиться центр маси куба в початковий момент). Куля до

моменту удару має кінетичну енергію $W_K = \frac{mv^2}{2}$. Ця

енергія кулі повинна дорівнювати роботі, виконаній при підніманні центра маси на висоту h , тобто

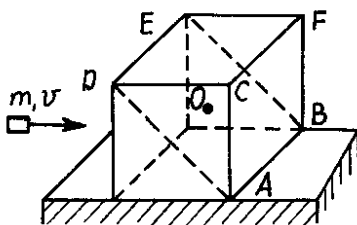


Рисунок 2.42

$$\frac{mv^2}{2} = Mg \frac{a}{2}(\sqrt{2} - 1),$$

звідки швидкість, яку повинна мати куля,

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{M}{m} ag(\sqrt{2} - 1)}$$

Перевірка одиниць

вимірювання: $[v] = \sqrt{\frac{\text{кг}}{\text{кг}} \cdot \text{м} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$

2.2.23 Задачі для самостійних вправ

Рівень-1

2.2.23.1 На тіло масою 200 г діє стала сила, яка за 5 с надає йому швидкості 1 м/с. Визначити величину цієї сили.

(Відповідь: 0,04 Н).

2.2.23.2 Внаслідок взаємодії двоє тіл набули прискорення 1 см/с^2 і 1 м/с^2 . Визначити співвідношення мас цих тіл. (Відповідь: $m_1/m_2 = 100$).

2.2.23.3 Під дією сили в 200 Н пружина розтягнулась на 10 мм. Визначити коефіцієнт пружності пружини. (Відповідь: $2 \cdot 10^4 \text{ Н/м}$).

2.2.23.4 Тіло масою 100 кг рівномірно ковзає по поверхні землі. Якої величини сила, прикладена до тіла, якщо коефіцієнт тертя 0,2? Вважати, що напрям сили співпадає з напрямом руху. (Відповідь: 200 Н).

2.2.23.5 Яку силу потрібно прикласти до кінця мотузки, перекинутої через нерухомий блок, щоб вантаж масою 15 кг, підвішений до другого кінця, рухався вгору з прискоренням $2,5 \text{ м/с}^2$? (Відповідь: 187,5 Н).

2.2.23.6 До тіла прикладені дві сили під кутом 90° одна до одної. Визначити величину рівнодійної сили, якщо величини складових 3Н і 4Н. (Відповідь: 5 Н).

2.2.23.7 Сила гравітаційної взаємодії між двома однаковими кулями 0,01 Н. Які маси куль, якщо відстань між їх центрами 1 м? Гравітаційна стала $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2$. (Відповідь: $\approx 1,22 \cdot 10^4 \text{ кг}$).

2.2.23.8 Автомобіль, маса якого 2 тони, рухається по опуклому мосту радіусом кривизни 40 м з швидкістю 36 км/год. Визначити величину доцентрової сили, яка діє на автомобіль. (Відповідь: $0,5 \cdot 10^4 \text{ Н}$).

2.2.23.9 Якої швидкості набуває ракета масою 0,6 кг в момент вилітання з неї продуктів згоряння масою 30 г з швидкістю 800 м/с? (Відповідь: 40м/с).

2.2.23.10 Яку роботу виконує людина, рівномірно піднімаючи тіло масою 2 кг на висоту 1 м? (Відповідь: 20 Дж).

2.2.23.11 Камінь кинули вертикально вгору з швидкістю 10 м/с. На яку висоту піднімається камінь?

Опором повітря знехтувати. (Відповідь: 5м).

2.2.23.12 Щоб стиснути пружину на 3 см, приклали силу 21 Н. Визначити потенціальну енергію стиснутої пружини. (Відповідь: 0,315 Дж).

2.2.23.13 Яку середню потужність розвиває тракторний двигун, якщо за 0,5 год він виконує роботу $36 \cdot 10^3$ кДж? (Відповідь: $2 \cdot 10^4$ Вт).

2.2.23.14 На шків діаметром 40 см діє момент сили 10 Н·м. Визначити величину сили, прикладеної по дотичній до шківів. (Відповідь: 50 Н).

2.2.23.15 Важіль має плечі 10 см і 90 см. Яку силу треба прикласти до довшого плеча, щоб підняти вантаж масою 180 кг. (Відповідь: 200 Н).

2.2.23.16 Нитка обірвалась під дією вантажу вагою 100 Н. Діаметр нитки 0,5 мм. Яка межа міцності нитки? (Відповідь: $\approx 5 \cdot 10^8$ Н/м²).

2.2.23.17 Яка повинна бути висота стовпа води, щоб зрівноважити стовпчик ртуті висотою 10 см ($\rho_{\text{в}} = 10^3$ кг/м³; $\rho_{\text{р}} = 13,6 \cdot 10^3$ кг/м³)? (Відповідь: 1,36 м).

2.2.23.18 У скільки разів зменшиться виштовхувальна сила, якщо тіло перенести з води в гас? ($\rho_{\text{в}} = 10^3$ кг/м³; $\rho_{\text{г}} = 0,8 \cdot 10^3$ кг/м³). (Відповідь: $\approx 1,25$).

2.2.23.19 По трубі змінного перерізу тече вода. У скільки разів швидкість води у вузькій частині труби більша від швидкості в широкій, якщо площі перерізів відносяться як 1:3? (Відповідь: 3).

Рівень-2

2.2.23.20 Автомобіль рухається по горизонтальному шляху з швидкістю 72 км/год. Визначити, через який час від моменту виключення мотора автомобіль зупиниться. Коефіцієнт тертя 0,2. (Відповідь: 10 с).

2.2.23.21 До нитки підвішене тіло масою 1 кг. Визначити силу натягу нитки, якщо тіло піднімають вгору з прискоренням 5 м/с^2 ? (Відповідь: 15 Н).

2.2.23.22 Два хлопчики, маси яких 40 кг і 60 кг, стоять на ковзанах на льоду. Перший відштовхується від другого з силою 10 Н. Яких прискорень набувають хлопчики? (Відповідь: $0,25 \text{ м/с}^2$, $\approx 0,17 \text{ м/с}^2$).

2.2.23.23 Дерев'яний брусок масою 0,2 кг ковзає по горизонтальній поверхні під дією вантажу масою 0,05 кг, прив'язаного до кінця мотузки, перекинutoї через нерухомий блок. Коефіцієнт тертя між бруском і поверхнею 0,1. Визначити прискорення, з яким рухається вантаж. (Відповідь: $1,2 \text{ м/с}^2$).

2.2.23.24 З якою швидкістю повинен рухатися мотоцикліст по опуклій ділянці шляху, що має радіус кривизни 40 м, щоб у верхній точці опуклості тиск дорівнював нулю? (Відповідь: 20 м/с).

2.2.23.25 На якій відстані від поверхні Землі сила притягання космічного корабля стане в 100 разів меншою, ніж на її поверхні? (Відповідь: $9 \cdot R$).

2.2.23.26 З гармати масою $5 \cdot 10^3$ кг вилітає куля масою 0,5 кг в горизонтальному напрямі. Кінетична енергія кулі в момент вилітання дорівнює $7,5 \cdot 10^6$ Дж. Яку швидкість має гармата в результаті віддачі? (Відповідь: $\approx 0,55 \text{ м/с}$).

2.2.23.27 Вантаж, маса якого 50 кг, зі стану спокою піднімають вертикально з прискоренням $1,25 \text{ м/с}^2$. Визначити роботу на шляху 10 м. (Відповідь: 5625 Дж).

2.2.23.28 Електропотяг в момент вимкнення струму рухався з швидкістю 10 м/с. Яку відстань він пройде по горизонталі до зупинки? Коефіцієнт опору 0,005. (Відповідь: 1000 м).

2.2.23.29 Тіло, маса якого 100 кг, сковзає з похилої площини завдовжки 1,4 м. Визначити роботу сили тяжіння, якщо кут нахилу площини до горизонту 30° . Тертя не враховувати. (Відповідь: 700 Дж).

2.2.23.30 Ліхтар вагою 200 Н підвішений на двох дротах, які утворюють з вертикальними стінками кути по 60° . Визначити сили натягу дротів. (Відповідь: 200 Н).

2.2.23.31 Дошку, маса якої 10 кг, підперли на відстані $\frac{1}{4}$ її довжини. Яку силу, перпендикулярну до дошки, треба прикласти до її короткого кінця, щоб утримати дошку в рівновазі? Дошку вважати однорідною. (Відповідь: 100 Н).

2.2.23.32 Який має бути діаметр труби, щоб при швидкості течії 0,32 м/с через її поперечний переріз протікало 10 літрів води за 4 секунди? (Відповідь: 0,1 м).

2.2.23.33 Сила, з якою тіло розтягує пружину, знаходячись у воді, в три рази менша від сили розтягу, коли тіло знаходиться в повітрі. Визначити густину тіла. (Відповідь: $\frac{3}{2}\rho_e = \frac{3}{2} \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$).

2.2.23.34 Автомобіль, вага якого 15 кН, рухається з швидкістю 36 км/год. Коефіцієнт опору дорівнює 0,02. Яку потужність при цьому розвиває двигун автомобіля? Рух автомобіля вважати рівномірним. (Відповідь: 3000 Вт).

2.2.23.35 З якою швидкістю рухався залізничний вагон, якщо після наїзду на гальмовий пристрій вагон пройшов відстань 1 м і зупинився? Коефіцієнт тертя під час гальмування 0,2. (Відповідь: ≈ 2 м/с).

2.2.23.36 Баба копра масою 200 кг вільно падає з висоти 4,9 м. Визначити кінетичну і потенціальну енергію баби копра на початку та в кінці падіння і в середній точці шляху. (Відповідь: 0 і 9,8; 9,8 і 0; 4,9 і 4,9 кДж).

2.2.23.37 Швидкість тіла масою 4 кг у вільному падінні на якомусь шляху збільшилась з 2 до 8 м/с. Визначити роботу сили тяжіння на цьому шляху. (Відповідь: 120 Дж).

2.2.23.38 Імпульс тіла дорівнює 8 кг·м/с, а кінетична енергія 16 Дж. Визначити масу і швидкість тіла. (Відповідь: 2 кг, 4 м/с).

2.2.23.39 Яку роботу треба виконати, щоб однорідний стержень завдовжки 2 м і масою 100 кг, що лежить на землі, поставити вертикально? (Відповідь: 1 кДж).

2.2.23.40 Щоб розтягнути пружину на 4 мм, треба виконати роботу, яка дорівнює 0,02 Дж. Яку роботу треба виконати, щоб розтягнути цю саму пружину на 4 см? (Відповідь: 2 Дж).

Рівень-3

2.2.23.41 Потяг масою 10^5 кг відходить від станції, рухаючись рівноприскорено, і на відстані 250 м розвиває швидкість 36 км/год. Коефіцієнт опору 0,006. Визначити силу тяги локомотива. (Відповідь: $26 \cdot 10^3$ Н).

2.2.23.42 Пасажирський потяг масою $4 \cdot 10^4$ кг рухається з швидкістю 40 км/год. Визначити гальмівну силу, якщо гальмівний шлях потягу 200 м. (Відповідь: ≈ 12 кН).

2.2.23.43 На похилій площині завдовжки 5 м і заввишки 3 м лежить вантаж, маса якого 50 кг. Яку силу, напрямлену вздовж площини, треба прикласти, щоб утримати цей вантаж? Витягувати його рівномірно вгору? Витягувати з прискоренням 1 м/с^2 ? Коефіцієнт тертя становить 0,2. (Відповідь: 220 Н, 380 Н, 830 Н).

2.2.23.44 Похила площина розташована під кутом $\alpha = 30^\circ$ до горизонту. Для яких значень коефіцієнта тертя μ витягувати по ній вантаж важче, ніж піднімати вертикально? (Відповідь: $\mu > 0,58$).

2.2.23.45 За якого прискорення розірветься трос, міцність якого на розрив складає 15 кН, якщо ним піднімати вантаж масою 500 кг? (Відповідь: 20 м/с^2).

2.2.23.46 За допомогою нерухомого блока зрівноважені два вантажі масою по 0,23 кг. З яким прискоренням рухатимуться вантажі, якщо на один з них покласти додатковий вантаж масою 0,03 кг? Тертя в блоці не враховувати. Яка швидкість вантажів через 5 с після початку руху? Який шлях пройде кожний вантаж за 4 с? (Відповідь: $\approx 0,61 \text{ м/с}^2$, $\approx 3 \text{ м/с}$, 4,88 м).

2.2.23.47 З якою швидкістю автомобіль повинен проїжджати середину опуклого моста радіусом 40 м, щоб пасажир на мить опинився в стані невагомості? (Відповідь: 20 м/с).

2.2.23.48 Яку швидкість повинен мати штучний супутник, щоб обертатися по коловій орбіті на висоті 600 км над поверхнею Землі? Який буде період його обертання? Радіус Землі становить 6400 км. (Відповідь: 7,57 км/с; 96,5 хв).

2.2.23.49 Визначити найменший радіус дуги для повороту автомашини, що їде по горизонтальній дорозі з швидкістю 36 км/год, якщо коефіцієнт тертя коліс об дорогу становить 0,25. (Відповідь: 40 м).

2.2.23.50 Хлопчик, маса якого 50 кг, гойдається на гойдалці, підвішеній на мотузку завдовжки 4 м. З якою силою він тисне на сидіння, проходячи положення рівноваги з швидкістю 6 м/с? (Відповідь: 950 Н).

2.2.23.51 Ковзаняр рухається з швидкістю 10 м/с по колу, радіус якого 30 м. Під яким кутом до горизонту він має нахилитися, щоб зберегти рівновагу? (Відповідь: 72°).

2.2.23.52 Вертоліт, маса якого 27,2 т, піднімає на тросах вертикально вгору вантаж масою 15,3 т з прискоренням $0,6 \text{ м/с}^2$. Визначити силу тяги вертольота і силу, що діє з боку вантажу, на причіпний механізм вертольота. (Відповідь: 442 кН; 160 кН).

2.2.23.53 Обчислити першу космічну швидкість для Венери, якщо маса Венери становить $4,3 \cdot 10^{24}$ кг, а її радіус дорівнює 6100 км. (Відповідь: 7,3 км/с).

2.2.23.54 Який запас міцності тросів, на яких підвішена кабіна ліфта, якщо загальний переріз тросів 200 мм^2 , а маса кабіни з пасажирами 500 кг? Межа міцності сталі, з якої виготовлені троси 450 Н/мм^2 . (Відповідь: 18).

2.2.23.55 Якого найменшого перерізу треба взяти сталевий стержень, щоб навантаження 2500 Н під час розтягання не спричинило залишкової деформації? Межа пружності розтягання 1000 Н/мм^2 . (Відповідь: $2,5 \text{ мм}^2$).

2.2.23.56 Сидячи у човні, мисливець стріляє з рушниці в тому самому напрямі, в якому пливе човен. Яку швидкість мав човен, якщо він зупинився після двох пострілів, зроблених швидко один за одним? Маса мисливця з човном 200 кг, маса набою 20 г. Швидкість вильоту шроту та порохових газів становить 500 м/с. (Відповідь: 0,1 м/с).

2.2.23.57 Матеріальна точка, маса якої 1 кг, рівномірно рухається по колу з швидкістю 10 м/с. Визначити зміну імпульсу за одну чверть періоду, половину періоду і цілий період. (Відповідь: 14 кг·м/с; 20 кг·м/с; 0).

2.2.23.58 Яку вагу матиме у воді і в гасі кусок свинцю, який у повітрі важить 20 Н? (Відповідь: 18,25 Н; 18,6 Н).

2.2.23.59 До балки завдовжки 5 м, маса якої 200 кг, підвісили на відстані 3 м від одного з її кінців вантаж масою 250 кг. Своїми кінцями балка лежить на опорах. Обчислити силу тиску на кожну з опор. (Відповідь: 2500 Н; 2000Н).

2.2.23.60 У воді з глибини 5 м піднімають до поверхні камінь, об'єм якого становить 0,6 м³. Густина каменю дорівнює 2500 кг/м³. Визначити роботу, затрачену на піднімання каменю. (Відповідь: 45 кДж).

2.2.23.61 Які значення потенціальної та кінетичної енергій стріли масою 50 г, випущеної з лука з швидкістю 30 м/с вертикально вгору, через 2 с після початку руху? (Відповідь: 20 Дж; 2,5 Дж).

2.2.23.62 Хокейна шайба масою 160 г, яка летить із швидкістю 20 м/с, влетіла у ворота і вдарилася об сітку, що прогнулася при цьому на 6,4 см. Яка максимальна сила, з якою шайба подіяла на сітку? Вважати, що сила пружності сітки змінюється залежно від її прогинання за законом Гука. (Відповідь: 1 кН).

2.2.23.63 Визначити співвідношення між кінетичною енергією шроту, що вилітає під час пострілу разом з пороховими газами, і кінетичною енергією рушниці, якщо маса рушниці у 100 разів більша від маси набою. (Відповідь: шроту в 100 разів більша).

2.2.23.64 З похилої площини завдовжки l і кутом нахилу α зсувається тіло. Яку швидкість має тіло біля основи площини, якщо коефіцієнт тертя дорівнює μ ?
(Відповідь: $v = \sqrt{2gl(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}$).

2.2.23.65 Яку роботу треба виконати, щоб по похилій площині з кутом нахилу 30° витягти вантаж масою 400 кг на висоту 2 м, якщо коефіцієнт тертя дорівнює 0,3? Який коефіцієнт корисної дії похилої площини? (Відповідь: 12 кДж; 66%).

2.2.23.66 Двигун насоса, розвиваючи потужність 25 кВт, піднімає 100 м^3 нафти на висоту 6 м за 8 хв. Визначити коефіцієнт корисної дії установки. (Відповідь: 40%).

2.2.23.67 Визначити середню корисну потужність, що її розвиває літак під час розбігу, якщо маса літака 1 т, довжина розбігу 300 м, злітна швидкість 30 м/с, а коефіцієнт опору 0,03. (Відповідь: 27 кВт).