

Л. Д. Дідух

МЕХАНІКА

УДК 53 (075.8)

ББК 22.3я73

Д 44

Рецензенти:

Б. А. Лукіянець, д-р фіз.-мат.наук, проф., професор кафедри інженерних технологій і прикладної фізики Інституту прикладної математики і фундаментальних наук при Національному університеті „Львівська політехніка”;

О. М. Петченко, д-р фіз.-мат.наук, проф., завідувач кафедри фізики Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

З. В. Стасюк, д-р фіз.-мат.наук, проф., завідувач кафедри фізичної та біомедичної електроніки Львівського національного університету імені Івана Франка;

С. П. Фуртак, д-р техн.наук, проф. кафедри фізики Української академії друкарства.

Рекомендовано Вченою радою

Тернопільського національного технічного університету

(протокол №9 від 19.11.2013 р.)

Дідух Л.

Д 44 **Механіка** : підручник / Л. Д. Дідух. — Тернопіль : Підручники і посібники, 2016. — 428 с.

ISBN 978-966-07-2990-2

У підручнику викладені основи Механіки як розділу курсу загальної фізики. Теоретичний матеріал ілюструє велика кількість прикладів. Одне із завдань підручника — націлити студента на активне опрацювання матеріалу. З цією метою до кожного розділу доданий параграф «Запитання і задачі. Відповіді»; задачі, наведені тут, органічно поєднані із основним змістом розділу.

Підручник розрахований на студентів вищих технічних навчальних закладів та студентів класичних і педагогічних університетів.

УДК 53 (075.8)

ББК 22.3я73

Навчальне видання

Дідух Леонід Дмитрович

МЕХАНІКА

Комп'ютерний набір та верстка: *Світлана Зелінська, Ірина Парій*

Формат 70x100/16. 34,7 ум. др. арк., 30,4 обл.-вид. арк. Замовлення № 16-365.

Видавеш і виготовлювач Редакція газети «Підручники і посібники».

46000, м. Тернопіль, вул. Поліська, 6а.

Тел.: (0352) 43-15-15; 43-10-21.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції серія ДК № 4678 від 21.01.2014 р.

ISBN 978-966-07-2990-2

© Дідух Л., 2016

ПЕРЕДМОВА

- Пропонований підручник — допрацьоване і доповнене видання «Основ механіки» (2010 р.). Введені нові розділи: «Коливання», «Хвилі», «Механіка рідин і газів».
- Мета підручника — не тільки викласти Механіку (як розділу курсу загальної фізики), а й поглибленому засвоєнню цієї частини курсу фізики; механіка є як основою для інших розділів фізики, так і базою для таких загальноінженерних дисциплін, як теоретична механіка, опір матеріалів, технічна механіка, теорія машин і механізмів, деталі машин та інших.
- Спрямованість підручника — з'ясування фізичного змісту основних понять і законів механіки та виклад відповідного математичного «супроводу». Ідея органічного поєднання «фізичного змісту» і «математики» є основною у посібнику. Вона має слугувати і формуванню у студента навиків фізико-математичного мислення.
- У підручнику наведена велика кількість прикладів, які ілюструють теоретичний матеріал. Тут автор підручника керувався висловом великого Ньютона — «При вивченні наук приклади корисніші від правил».
- Одне із завдань підручника — націлити студента на активне опрацювання матеріалу. З цією метою до кожного розділу доданий параграф «Запитання і задачі. Відповіді»; задачі, наведені тут, органічно поєднані із основним змістом розділу. Робота із фізико-математичним текстом вимагає творчого відношення до нього: працювати потрібно «із рукою» — намагатися *самостійно* відтворити математичні викладки, прагнути самостійно отримати розв'язок задачі, перш, ніж глянути у відповідь (хоча вже навіть знайомство з умовою задачі і відповіддю принесе безумовну користь). Вміння приходять з часом, після постійних зусиль над оволодінням предметом (і над собою!). Відмітимо у цьому зв'язку, що важливою умовою ефективної самостійної роботи студента є можливість отримання консультацій (у викладачів, сильніших студентів). Користуйтеся такими можливостями!
- Підручник містить «Математичне доповнення», де систематизовані відомості з математики (із елементами диференціального й інтегрального числення), які необхідні для засвоєння матеріалу підручника.
- Розділ «Кінематика» може здатися дещо громіздким, можуть виникнути і запитання щодо неодноразового використання деяких формул. Автор обгрунтовує свій виклад, поперше, тим, що для неформального засвоєння матеріалу студентами, які приступають до вивчення фізики, цінні саме приклади, які допомагають освоювати розглядуване питання під різними «кутами зору». І, по-друге: саме кінематика — природний «полігон» для набуття навиків техніки диференціювання та інтегрування, вмінь застосовувати апарат вищої математики до розв'язування конкретних фізичних задач.
- В підручнику вміщені додатки: «Зміст іншомовних слів», вживаних у підручнику, «Іменний покажчик» (імен, згадуваних у підручнику), «Латинський і грецький алфавіти», «Одиниці вимірювання фізичних величин в СІ (*механіка*)», «Деякі астрономічні дані», «Предметний покажчик».
- Підручник розрахований, насамперед, на студентів вищих технічних навчальних закладів, проте може бути використаний ширшим колом студентів; в залежності від програми курсу фізики частина матеріалу може бути опущена без шкоди для розуміння основного тексту.
- Автор сподівається (услід за думкою одного із рецензентів), що користувачі різних рівнів знайдуть у підручнику свої «полички».

Висловлюю щиро подяку всім, хто зробив свої зауваження і висловив пропозиції, спрямовані на покращення підручника. Насамперед, — проф. Лукіяниво Б.А., проф. Петченку О.М., проф. Стасюку З.В., проф. Фуртаку С.П. — рецензентам, проф. Пундику А.В., доц. Скоренькому Ю.Л., доц. Крамару О.І., доц. Кульчицькому В.І., Довгоп'ятому Ю.М. — колегам по кафедрі. Особливу подяку висловлюю доц. Пістуну П.Ф.

Я щиро вдячний С.С. Зелінській за її сумлінну і якісну роботу, пов'язану із перетворенням рукописної версії книги у «кінцевий продукт» та І.С. Парій за вагомий внесок у підготовку до друку «Механіки». Хочу також висловити вдячність Б. Яворському за допомогу у підготовці підручника до видання та в Internet-пошуках.

Автор вдячний за підтримку видання «Механіки» ректорату Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, директору Гусятинського коледжу ТНТУ ім. Івана Пулюя доц. К.В. Зелінському, голові правління ПАТ «Тернопільгаз» О.І. Караванському, голові ПАП «Аркадія» М.І. Пилипіву.

| | |
|---|----|
| ПЕРЕДМОВА | 3 |
| ВСТУП | 5 |
| ПОЗНАЧЕННЯ | 11 |
| РОЗДІЛ 1 ОСНОВИ КІНЕМАТИКИ | 12 |
| 1.1 Загальні поняття | 12 |
| 1.1.1 Завдання кінематики | 12 |
| 1.1.2 Система відліку | 13 |
| 1.2 Способи опису руху матеріальної точки | 13 |
| 1.2.1 Траєкторний опис | 14 |
| 1.2.2 Векторний опис | 15 |
| 1.2.3 Координатний опис | 16 |
| 1.3 Швидкість | 17 |
| 1.3.1 Траєкторний опис | 17 |
| 1.3.2 Векторний опис | 19 |
| 1.3.3 Координатний опис | 20 |
| 1.4 Прискорення | 21 |
| 1.4.1 Означення прискорення | 21 |
| 1.4.2 Прискорення в траєкторному описі. Тангенціальна та нормальна складові прискорення | 21 |
| 1.4.3 Векторний та координатний описи прискорення | 23 |
| 1.5 Базові формули кінематики. Вивід основних рівнянь рівномірного та рівнозмінного рухів | 24 |
| 1.5.1 Базові формули кінематики | 24 |
| 1.5.2 Рівномірний рух | 25 |
| 1.5.3 Рівнозмінний рух | 26 |
| 1.5.4 Рівняння рівномірного та рівнозмінного рухів: підсумок | 27 |
| 1.6 Кінематика рівномірного та рівнозмінного рухів. Приклади | 28 |
| 1.6.1 Вільне падіння тіла | 28 |
| 1.6.2 Рух тіла, кинутого вертикально вгору | 29 |
| 1.6.3 Рух тіла, кинутого горизонтально | 30 |
| 1.6.4 Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту | 32 |
| 1.7 Зв'язок між кінематичними величинами при відносних рухах | 34 |
| 1.7.1 Перетворення координат Галілея | 35 |
| 1.7.2 Закон додавання швидкостей | 36 |
| 1.7.3 Відносні переміщення двох тіл в інерціальній системі відліку | 37 |
| 1.7.4 Інваріантність прискорення | 38 |
| 1.7.5 Приклади | 38 |
| 1.8 Обертальний рух | 39 |
| 1.8.1 Кутові кінематичні величини. Кутова швидкість. Кутове прискорення | 39 |
| 1.8.2 Зв'язок між лінійними та кутовими швидкостями і прискореннями | 41 |
| 1.8.3 Кінематика рівномірного та рівнозмінного обертання | 43 |
| 1.8.3.1 Рівномірне обертання | 43 |
| 1.8.3.2 Рівнозмінний обертальний рух | 43 |
| 1.8.3.3 Обертальний рух матеріальної точки по колу: чотири форми рівнянь руху | 44 |
| 1.8.3.4 Аналогії між лінійними та кутовими кінематичними величинами | 44 |
| 1.8.4 Приклади | 45 |
| 1.9 Запитання і задачі. Відповіді | 46 |
| 1.9.1 Поради щодо розв'язування фізичних задач | 46 |
| 1.9.2 Запитання і задачі | 46 |
| 1.9.3 Відповіді | 47 |
| РОЗДІЛ 2 ОСНОВИ ДИНАМІКИ | 51 |
| 2.1 Основні поняття динаміки | 51 |
| 2.1.1 Маса | 51 |
| 2.1.2 Сила | 52 |
| 2.1.3 Імпульс тіла | 55 |
| 2.2 Перший закон Ньютона | 56 |
| 2.3 Другий закон Ньютона | 57 |

| | | |
|---------------------------------------|--|-----------|
| 2.4 | Третій закон Ньютона | 61 |
| 2.5 | Закони Ньютона: застосування до розв'язування задач | 62 |
| 2.5.1 | Два типи задач динаміки | 62 |
| 2.5.2 | Теоретичні задачі | 63 |
| 2.5.3 | Розрахункові задачі | 65 |
| 2.6 | Механічний принцип відносності | 69 |
| 2.6.1 | Принцип відносності Галілея | 69 |
| 2.6.2 | Приклад Галілея | 70 |
| 2.7 | Другий закон Ньютона для системи матеріальних точок | 71 |
| 2.7.1 | Імпульс механічної системи. Центр мас | 71 |
| 2.7.2 | Рівняння руху механічної системи | 72 |
| 2.8 | Рух тіла зі змінною масою | 73 |
| 2.8.1 | Рівняння Мещерського. Реактивна сила | 73 |
| 2.8.2 | Наслідки із рівняння Мещерського | 74 |
| 2.8.3 | Приклади | 75 |
| 2.9 | Закон збереження імпульсу | 77 |
| 2.9.1 | Випадок однієї матеріальної точки | 77 |
| 2.9.2 | Закон збереження імпульсу для двох взаємодіючих тіл | 77 |
| 2.9.3 | Закон збереження імпульсу для системи тіл | 79 |
| 2.9.4 | Закон збереження імпульсу і однорідність простору | 79 |
| 2.10 | Запитання і задачі. Відповіді | 80 |
| 2.10.1 | Запитання і задачі | 80 |
| 2.10.2 | Відповіді | 81 |
| РОЗДІЛ 3 СИЛИ В МЕХАНІЦІ | | 88 |
| 3.1 | Прояви гравітаційних взаємодій | 89 |
| 3.1.1 | Закон всесвітнього тяжіння. Гравітаційне поле | 89 |
| 3.1.2 | Сила тяжіння. Прискорення вільного падіння | 90 |
| 3.1.3 | Вага | 92 |
| 3.2 | Сили пружності | 94 |
| 3.2.1 | Деформація твердого тіла | 95 |
| 3.2.2 | Деформації розтягу, стиску, зсуву, кручення | 95 |
| 3.2.2.1 | Деформації розтягу та стиску | 95 |
| 3.2.2.2 | Деформація зсуву | 96 |
| 3.2.2.3 | Деформація кручення | 97 |
| 3.2.3 | Пружні сили. Напруження | 97 |
| 3.2.4 | Закон Гука | 99 |
| 3.2.5 | Характеристичні напруження | 101 |
| 3.2.6 | Пружна післядія. Пружний гістерезис. Втома металів | 103 |
| 3.3 | Сили тертя | 104 |
| 3.3.1 | Тертя. Загальні поняття | 104 |
| 3.3.2 | Тертя спокою | 105 |
| 3.3.3 | Тертя ковзання | 106 |
| 3.3.4 | Тертя кочення | 107 |
| 3.3.5 | Природа сил тертя | 108 |
| 3.3.6 | В'язке тертя. Опір середовища | 108 |
| 3.4 | Сили інерції | 109 |
| 3.4.1 | Неінерціальні системи, що рухаються поступально | 110 |
| 3.4.1.1 | Другий закон Ньютона в неінерціальній системі відліку. Сили інерції | 110 |
| 3.4.1.2 | Приклади прояву сил інерції при поступальному русі | 111 |
| 3.4.2 | Неінерціальні системи відліку, що обертаються | 112 |
| 3.4.2.1 | Сили інерції в системі відліку, що обертається. Відцентрова сила інерції. Сила Коріоліса | 112 |
| 3.4.2.2 | Прояви відцентрової сили інерції і сили Коріоліса | 114 |
| 3.4.3 | Земля як неінерціальна система відліку | 115 |
| 3.4.3.1 | Відцентрова сила інерції. Сила тяжкості. Залежність прискорення вільного падіння від широти місцевості | 115 |
| 3.4.3.2 | Вага тіла із врахуванням обертання Землі | 117 |
| 3.4.3.3 | Прояви сили Коріоліса | 117 |
| 3.5 | Сили: тлумачення деяких термінів | 118 |
| 3.6 | Запитання і задачі. Відповіді | 121 |

| | | |
|-------|--------------------------|-----|
| 3.6.1 | Запитання і задачі | 121 |
| 3.6.2 | Відповіді | 123 |

| | | |
|--|---|-----|
| РОЗДІЛ 4 РОБОТА ТА ЕНЕРГІЯ | 129 | |
| 4.1 | Робота сили | 129 |
| 4.1.1 | Робота сталої сили | 129 |
| 4.1.2 | Робота змінної сили | 131 |
| 4.2 | Потужність | 133 |
| 4.3 | Кінетична енергія | 134 |
| 4.3.1 | Кінетична енергія матеріальної точки | 134 |
| 4.3.2 | Кінетична енергія системи матеріальних точок. Закон зміни кінетичної енергії | 136 |
| 4.4 | Потенціальна енергія | 136 |
| 4.4.1 | Потенціальна енергія тіла в полі тяжіння Землі | 136 |
| 4.4.2 | Потенціальна енергія пружно здеформованого тіла | 138 |
| 4.4.3 | Зв'язок між роботою і зміною потенціальної енергії | 139 |
| 4.4.4 | Потенціальна енергія системи тіл | 140 |
| 4.5 | Зв'язок між силою і потенціальною енергією | 140 |
| 4.6 | Закон збереження механічної енергії | 141 |
| 4.6.1 | Закон збереження енергії тіла | 142 |
| 4.6.2 | Закон збереження енергії системи тіл | 143 |
| 4.7 | Робота, енергія: приклади | 144 |
| 4.7.1 | Застосування закону збереження енергії до кінематики | 144 |
| 4.7.2 | Загальна формула для роботи, виконуваної силами тяжіння | 145 |
| 4.7.3 | Космічні швидкості | 147 |
| 4.8 | Потенціальна енергія та умови руху і рівноваги тіла | 149 |
| 4.9 | Закон збереження енергії і закон збереження імпульсу: деякі застосування | 150 |
| 4.9.1 | Зіткнення | 151 |
| 4.9.2 | Абсолютно пружні зіткнення | 152 |
| 4.10 | Абсолютно непружні зіткнення | 154 |
| 4.11 | Запитання і задачі. Відповіді | 155 |
| 4.11.1 | Запитання і задачі | 155 |
| 4.11.2 | Відповіді | 157 |
| РОЗДІЛ 5 МЕХАНІКА ТВЕРДОГО ТІЛА | 162 | |
| 5.1 | Кінематика твердого тіла | 162 |
| 5.1.1 | Поступальний рух твердого тіла | 162 |
| 5.1.2 | Обертальний рух твердого тіла | 163 |
| 5.1.3 | Плоский рух твердого тіла | 164 |
| 5.1.4 | Приклади | 166 |
| 5.2 | Динаміка поступального руху твердого тіла | 168 |
| 5.3 | Динаміка обертального руху твердого тіла: необхідність нових понять | 169 |
| 5.3.1 | Маса не є мірою інертності тіла при обертальному русі | 170 |
| 5.3.2 | Про ефективність дії сили при обертальному русі | 170 |
| 5.4 | Момент інерції твердого тіла | 171 |
| 5.4.1 | Момент інерції тіла відносно осі обертання | 171 |
| 5.4.2 | Момент інерції деяких твердих тіл | 172 |
| 5.4.3 | Теорема Штейнера | 173 |
| 5.5 | Момент сили | 174 |
| 5.5.1 | Момент сили відносно точки (полюса) | 175 |
| 5.5.2 | Момент сили відносно осі | 176 |
| 5.5.3 | Момент пари сил | 179 |
| 5.5.4 | Момент внутрішніх сил | 180 |
| 5.6 | Момент імпульсу | 180 |
| 5.6.1 | Момент імпульсу матеріальної точки відносно точки і відносно осі | 181 |
| 5.6.2 | Момент імпульсу тіла відносно точки і відносно нерухомої осі | 182 |
| 5.7 | Основний закон динаміки обертального руху твердого тіла | 183 |
| 5.7.1 | Основний закон динаміки обертального руху твердого тіла в загальній формі | 183 |
| 5.7.2 | Основний закон динаміки обертального руху твердого тіла навколо нерухомої осі | 184 |
| 5.7.3 | Приклади | 184 |
| 5.8 | Робота зовнішніх сил при обертальному русі. Потужність | 186 |

| | | |
|----------------|--|------------|
| 5.8.1 | Робота при обертальному русі..... | 186 |
| 5.8.2 | Потужність при обертальному русі..... | 187 |
| 5.8.3. | Зв'язок між зміною потенціальної енергії при обертанні тіла і моментом сили..... | 187 |
| 5.8.4 | Приклади..... | 187 |
| 5.9. | Кінетична енергія тіла, що обертається..... | 189 |
| 5.9.1 | Кінетична енергія тіла при обертанні навколо нерухомої осі..... | 189 |
| 5.9.2 | Кінетична енергія тіла при плоскому русі..... | 191 |
| 5.10. | Закон збереження енергії при обертальному русі..... | 192 |
| 5.11 | Закон збереження моменту імпульсу..... | 193 |
| 5.11.1 | Випадок одного тіла..... | 193 |
| 5.11.2 | Закон збереження моменту імпульсу для двох тіл..... | 194 |
| 5.11.3 | Закон збереження моменту імпульсу для системи тіл..... | 195 |
| 5.12 | Аналогії між поступальним та обертальним рухами (динаміка)..... | 195 |
| 5.13 | Динаміка плоского руху..... | 196 |
| 5.13.1 | Загальні рівняння..... | 196 |
| 5.13.2 | Скочування циліндра з похилої площини..... | 196 |
| 5.13.3 | Плоский рух: колісні засоби транспорту..... | 198 |
| 5.14 | Вільні осі обертання..... | 199 |
| 5.14.1 | Поняття про вільні осі..... | 199 |
| 5.14.2 | Вільні осі і техніка швидких рухів..... | 200 |
| 5.15 | Гіроскопи..... | 200 |
| 5.15.1 | Поняття про гіроскоп..... | 200 |
| 5.15.2 | Стійкість напрямку осі гіроскопа..... | 201 |
| 5.15.3 | Гіроскопічний ефект..... | 201 |
| 5.15.4 | Обертання дзиги..... | 203 |
| 5.15.5 | Гіроскопічні сили..... | 205 |
| 5.15.6 | Застосування гіроскопів..... | 207 |
| 5.16 | Статика..... | 207 |
| 5.16.1 | Основні рівняння..... | 207 |
| 5.16.2 | Центр ваги тіла. Центр ваги системи тіл..... | 208 |
| 5.16.3 | Властивості центра ваги..... | 211 |
| 5.16.4 | Рівновага та стійкість тіл на площині..... | 214 |
| 5.16.5 | Прості механізми..... | 217 |
| | 5.16.5.1 Золоте правило механіки. Методи розрахунку простих механізмів. К.к.д. простого механізму..... | 217 |
| | 5.16.5.2 Важіль..... | 218 |
| | 5.16.5.3 Блоки..... | 218 |
| | 5.16.5.4 Похила площина як простий механізм..... | 219 |
| | 5.16.5.5 Клини..... | 220 |
| | 5.16.5.6 Гвинт..... | 221 |
| | 5.16.5.7 Коловорот..... | 222 |
| | 5.16.5.8 Поліспасти..... | 223 |
| | 5.16.6 Приклади..... | 223 |
| 5.17 | Запитання і задачі. Відповіді..... | 226 |
| 5.17.1 | Запитання і задачі..... | 226 |
| 5.17.2 | Відповіді..... | 228 |
| РЗДІЛ 6 | РЕЛЯТИВІСТСЬКА МЕХАНІКА..... | 235 |
| 6.1 | Передумови релятивістської механіки..... | 235 |
| 6.2 | Постулати Ейнштейна..... | 236 |
| 6.3 | Відносність часу. Відносність одночасності..... | 237 |
| 6.4 | Перетворення Лоренца..... | 238 |
| 6.5 | Наслідки з перетворень Лоренца..... | 240 |
| 6.5.1 | Релятивістське скорочення розмірів тіла..... | 240 |
| 6.5.2 | Ефект уповільнення часу..... | 241 |
| 6.5.3 | Релятивістський закон додавання швидкостей..... | 242 |
| 6.6 | Релятивістська динаміка..... | 244 |
| 6.6.1 | Незастосовність другого закону Ньютона в релятивістській області..... | 244 |
| 6.6.2 | Другий закон Ньютона в релятивістській механіці. Релятивістський імпульс. Релятивістська маса..... | 244 |
| 6.7 | Енергія в теорії відносності..... | 246 |

| | | |
|--------------------------------------|---|------------|
| 6.7.1 | Взаємозв'язок маси і енергії | 246 |
| 6.7.2 | Енергія спокою..... | 247 |
| 6.7.3 | Кінетична енергія в теорії відносності | 248 |
| 6.7.4 | Дефект маси. Енергія зв'язку..... | 248 |
| 6.8. | Запитання і задачі. Відповіді | 249 |
| 6.8.1 | Запитання і задачі | 249 |
| 6.8.2 | Відповіді | 250 |
| РОЗДІЛ 7 КОЛИВАННЯ..... | | 253 |
| 7.1 | Загальні поняття..... | 253 |
| 7.2 | Гармонічні коливання: рух матеріальної точки під дією пружної сили | 254 |
| 7.2.1 | Рух матеріальної точки під дією пружної сили | 254 |
| 7.2.2 | Рівняння гармонічного руху | 255 |
| 7.2.3 | Закон гармонічного руху..... | 255 |
| 7.2.4 | Квазіпружна сила. Рух під дією квазіупругої сили | 256 |
| 7.3 | Характеристики гармонічних коливань | 256 |
| 7.3.1 | Зміщення, амплітуда, фаза, період, частота | 256 |
| 7.3.2 | Швидкість та прискорення точки, що здійснює гармонічні коливання..... | 257 |
| 7.3.3 | Енергія гармонічного коливання..... | 258 |
| 7.4 | Маятники | 259 |
| 7.4.1 | Пружинний маятник | 259 |
| 7.4.2 | Математичний маятник..... | 262 |
| 7.4.3 | Фізичний маятник | 264 |
| 7.4.4 | Крутильний маятник..... | 267 |
| 7.5 | Затухаючі коливання | 268 |
| 7.5.1 | Рівняння руху коливальної системи, в якій діє сила опору середовища..... | 268 |
| 7.5.2 | Зміщення, амплітуда, період затухаючих коливань | 269 |
| 7.5.3 | Умови застосування отриманих результатів..... | 270 |
| 7.5.4 | Декремент затухання | 270 |
| 7.5.5 | Добротність коливальної системи..... | 270 |
| 7.6 | Вимушені коливання | 272 |
| 7.6.1 | Вимушені коливання | 272 |
| 7.6.2 | Рівняння вимушених коливань | 273 |
| 7.6.3 | Зміщення, амплітуда, фаза вимушених коливань..... | 273 |
| 7.6.4 | Резонанс | 274 |
| 7.7 | Застосування закону збереження енергії до коливальних рухів..... | 276 |
| 7.7.1 | Вільні незатухаючі коливання маятників..... | 276 |
| 7.7.2 | Затухаючі та вимушені коливання маятників | 279 |
| 7.8 | Аналогія між обертальним рухом і гармонічними коливаннями | 281 |
| 7.8.1 | Векторна діаграма..... | 281 |
| 7.8.2 | Приклади застосування векторних діаграм для опису вимушених коливань | 281 |
| 7.9 | Додавання гармонічних коливань одного напрямку..... | 283 |
| 7.9.1 | Додавання коливань однакової частоти | 283 |
| 7.9.2 | Додавання коливань з близькими частотами. Биття | 284 |
| 7.10 | Додавання взаємно перпендикулярних коливань | 285 |
| 7.10.1 | Додавання взаємно перпендикулярних коливань з однаковою частотою | 285 |
| 7.10.2 | Додавання взаємно перпендикулярних коливань з різними частотами..... | 287 |
| 7.11 | Гармонічний аналіз..... | 288 |
| 7.12 | Автоколивання. Параметричні коливання | 288 |
| 7.12.1 | Автоколивальні системи | 288 |
| 7.12.2 | Параметричні коливання..... | 288 |
| 7.13 | Запитання і задачі. Відповіді | 289 |
| 7.13.1 | Запитання і задачі | 289 |
| 7.13.2 | Відповіді | 290 |
| РОЗДІЛ 8 МЕХАНІЧНІ ХВИЛІ..... | | 297 |
| 8.1 | Хвильовий процес..... | 297 |
| 8.1.1 | Поширення збурень у пружному середовищі. Приклади хвильових процесів. Хвильова поверхня. Фронт хвилі | 297 |
| 8.1.2 | Класифікація хвиль..... | 300 |
| 8.2 | Швидкості поширення пружних хвиль у твердих тілах, газах і рідинах | 301 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 8.2.1 | Швидкість поширення хвиль у твердих тілах..... | 301 |
| 8.2.2 | Швидкість поширення хвиль у газах..... | 303 |
| 8.2.3 | Швидкість поширення хвиль у рідинах..... | 304 |
| 8.3 | Рівняння гармонічної хвилі. Хвилі зміщення, швидкості, деформації, тиску..... | 305 |
| 8.3.1 | Рівняння плоскої хвилі зміщень..... | 305 |
| 8.3.2 | Хвиля швидкості. Хвиля деформації..... | 308 |
| 8.3.3 | Звуковий тиск. Хвиля тиску..... | 309 |
| 8.3.4 | Хвильове рівняння..... | 310 |
| 8.3.5 | Рівняння сферичної хвилі..... | 311 |
| 8.4 | Енергія пружної хвилі..... | 311 |
| 8.4.1 | Кінетична та потенціальна енергія хвилі..... | 311 |
| 8.4.2 | Потік енергії. Інтенсивність хвилі..... | 313 |
| 8.4.3 | Затухання пружних хвиль..... | 314 |
| 8.5 | Інтерференція хвиль..... | 315 |
| 8.5.1 | Принцип суперпозиції хвиль. Когерентні хвилі. Інтерференція..... | 315 |
| 8.5.2 | Розрахунок інтерференційної картини від двох точкових джерел..... | 316 |
| 8.6 | Поширення, відбивання та заломлення хвиль..... | 318 |
| 8.6.1 | Принципи Гюйгенса і Гюйгенса-Френеля..... | 318 |
| 8.6.2 | Явище дифракції..... | 320 |
| 8.6.3 | Відбивання і заломлення хвиль..... | 320 |
| 8.6.4 | Зміна фази хвилі при відбиванні. Інтенсивності відбитої та прохідної хвиль..... | 322 |
| 8.7 | Стоячі хвилі..... | 326 |
| 8.7.1 | Утворення стоячої хвилі, її загальна характеристика..... | 326 |
| 8.7.2 | Особливості стоячої хвилі, її вузли і пучності..... | 327 |
| 8.7.3 | Кінетична і потенціальна енергії стоячої хвилі..... | 329 |
| 8.7.4 | Колівання струн, стержнів і повітряних стовпів..... | 330 |
| 8.7.5 | Приклади..... | 332 |
| 8.8 | Ефект Доплера..... | 333 |
| 8.9 | Ударна хвиля..... | 336 |
| 8.10 | Ультразвук..... | 337 |
| 8.11 | Сприймання звуку..... | 338 |
| 8.12 | Запитання і задачі. Відповіді..... | 341 |
| 8.12.1 | Запитання і задачі..... | 341 |
| 8.12.2 | Відповіді..... | 342 |

| | | |
|---|--|-----|
| РОЗДІЛ 9 МЕХАНІКА РІДИН І ГАЗІВ..... | 345 | |
| 9.1 | Гідроаеростатика..... | 345 |
| 9.1.1 | Тиск в рідинах і газах. Закон Паскаля..... | 345 |
| 9.1.2 | Атмосферний тиск. Гідростатичний тиск. Вимірювання тиску..... | 348 |
| 9.1.3 | Закон Архімеда..... | 351 |
| 9.1.4 | Приклади..... | 352 |
| 9.2 | Основи гідродинаміки..... | 354 |
| 9.2.1 | Основні поняття гідродинаміки..... | 354 |
| 9.2.2 | Рівняння неперервності течії..... | 355 |
| 9.3 | Рівняння Бернуллі..... | 355 |
| 9.3.1 | Рівняння Бернуллі..... | 355 |
| 9.3.2 | Динамічний, гідравлічний, статичний та гідростатичний тиски..... | 357 |
| 9.4 | Застосування рівняння Бернуллі..... | 358 |
| 9.4.1 | Витікання рідини з посудини..... | 358 |
| 9.4.2 | Водострумний насос..... | 360 |
| 9.4.3 | Витратомір води..... | 360 |
| 9.5 | Гідродинаміка в'язких рідин..... | 361 |
| 9.5.1 | В'язкість рідини. Сила внутрішнього тертя..... | 361 |
| 9.5.2 | Протікання в'язкої рідини по циліндричній трубі. Формула Пуазейля..... | 363 |
| 9.5.3 | Ламінарна та турбулентна течії. Число Рейнольдса..... | 365 |
| 9.6 | Рух тіл у рідинах і газах..... | 366 |
| 9.6.1 | Загальні поняття..... | 366 |
| 9.6.2 | Сила лобового опору. Сила тертя і сила тиску..... | 368 |
| 9.6.3 | Підймальна сила..... | 371 |
| 9.6.4 | Ефект Магнуса..... | 372 |
| 9.7 | Запитання і задачі. Відповіді..... | 373 |

| | | |
|---|--|------------|
| 9.7.1 | Запитання і задачі | 373 |
| 9.7.2 | Відповіді | 374 |
| МАТЕМАТИЧНЕ ДОПОВНЕННЯ | | 377 |
| 1 | Кути | 377 |
| 2 | Скаляри | 377 |
| 3 | Вектори | 378 |
| 3.1 | Поняття вектора. Дії з векторами | 378 |
| 3.2 | Одиничний вектор | 380 |
| 3.3 | Декартова система координат | 380 |
| 3.4 | Розкладання векторів на складові | 381 |
| 3.5 | Проекція вектора | 382 |
| 3.6 | Радіус-вектор | 383 |
| 3.7 | Скалярний і векторний добутки векторів | 383 |
| 3.7.1 | Скалярний добуток векторів | 383 |
| 3.7.2 | Векторний добуток векторів | 385 |
| 3.7.3 | Змішаний добуток векторів. Подвійний векторний добуток | 386 |
| 4. | Елементи диференціального числення | 386 |
| 4.1 | Функція | 386 |
| 4.2 | Похідна і диференціал | 387 |
| 4.2.1 | Похідна | 387 |
| 4.2.2 | Диференціал | 389 |
| 4.2.3 | Диференціювання | 389 |
| 4.2.4 | Застосування до дослідження функцій | 391 |
| 4.2.5 | Приклади | 392 |
| 4.3 | Похідна і диференціал вектора | 394 |
| 4.4 | Похідна за напрямом. Частинна похідна. Градієнт | 395 |
| 5. | Елементи інтегрального числення | 396 |
| 5.1 | Означений інтеграл | 396 |
| 5.2 | Неозначений інтеграл | 398 |
| 5.3 | Правила інтегрування | 399 |
| 5.4 | Знаходження означеного інтеграла | 400 |
| 5.5 | Деякі застосування означеного інтеграла | 401 |
| 6. | Деякі формули з елементарної математики | 403 |
| 6.1 | Алгебра | 403 |
| 6.2 | Геометрія | 403 |
| 6.3 | Тригонометрія | 404 |
| 7. | Наближені формули | 405 |
| 8. | Наближені обчислення | 406 |
| 8.1 | Загальні відомості про наближені числа | 406 |
| 8.1.1 | Правильні й сумнівні цифри. Значущі цифри | 406 |
| 8.1.2 | Заокруглення чисел | 407 |
| 8.2 | Дії з наближеними числами | 408 |
| 8.3 | Оцінка величини. Порядок величини | 408 |
| ДОДАТКИ | | 410 |
| A.1 | Зміст іншомовних слів | 410 |
| A.2 | Іменний покажчик | 412 |
| A.3 | Латинський і грецький алфавіти | 415 |
| A.4 | Одиниці вимірювання фізичних величин в СІ (механіка) | 416 |
| A.5 | Деякі астрономічні дані | 417 |
| ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК | | 418 |
| СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ | | 421 |