

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

В. П. Палехін

КУРС ФІЗИКИ

Підручник

Затверджено Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України

Харків – 2013

5УДК 53(075.8)

ББК 22.3я73

П 14

Рецензенти:

Вовк Р. В. – завідувач кафедри фізики Української державної академії залізничного транспорту, д-р фіз.-мат. наук, проф.;

Фик І. М. – завідувач кафедри видобування нафти, газу та конденсату Харківського національного технічного університету «ХПТ», д-р техн. наук, проф.;

Шевченко В. О. – завідувач науково-дослідної лабораторії картографії та геоінформатики Київського національного університету імені Тараса Шевченка, д-р геогр. наук., проф.

*Затверджено Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України
як підручник для студентів геолого-географічних спеціальностей
вищих навчальних закладів
(лист №1/11-343 від 16.01.2013 р.)*

Палехін В. П.

П 14

Курс фізики : підручник / В. П. Палехін. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2013. – 516 с.

ISBN 978-966-623-936-8

У підручнику розглянуті основні питання курсу фізики: механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електрики і магнетизму, оптики, елементи фізики атома й атомного ядра.

Особливу увагу надано питанням, які необхідні для професійної діяльності: будові та характеристикам Землі і її атмосфери, фізичним процесам у геосферах і практичному використанню фізичних законів і явищ.

Підручник призначено для студентів геолого-географічних та інших спеціальностей природничих факультетів університетів.

УДК 53(075.8)

ББК 22.3я73

ISBN 978-966-623-936-8

© Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2013

© Палехін В. П., 2013

© Дончик І. М., макет обкладинки, 2013

ЗМІСТ

ВСТУП	13
Частина 1. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ КЛАСИЧНОЇ МЕХАНІКИ	18
Розділ 1. Простір і час у механіці. Елементи кінематики поступального й обертального руху	18
§ 1.1. Уявлення про простір і час у механіці. Задачі механіки	18
§ 1.2. Матеріальна точка. Системи відліку. Радіус-вектор. Кінематичний закон руху. Траєкторія. Шлях. Вектор переміщення	19
§ 1.3. Швидкість поступального руху. Прискорення. Прискорення при криволінійному русі. Повне прискорення	22
§ 1.4. Кутова швидкість і кутове прискорення. Кутова швидкість, період і частота обертання. Лінійна і кутова швидкості Землі. Маятник Фуко. Зв'язок між лінійною і кутовою швидкостями та прискореннями	27
Контрольні запитання і завдання	31
Розділ 2. Динаміка. Перетворення Галілея. Сили інерції	32
§ 2.1. Сила. Маса. Перший закон Ньютона. Інерціальні системи відліку. Геліоцентрична система відліку	32
§ 2.2. Другий закон Ньютона. Імпульс. Основне рівняння динаміки поступального руху. Імпульс сили	35
§ 2.3. Третій закон Ньютона. Центр мас системи матеріальних точок. Рівняння руху центра мас системи матеріальних точок	37
§ 2.4. Момент сили. Плече сили. Пара сил. Момент інерції. Момент імпульсу. Основне рівняння динаміки обертального руху. Момент інерції Землі	40
§ 2.5. Гіроскопи. Гіроскопічний ефект. Прецесія і нутація осі обертання Землі	44
§ 2.6. Перетворення Галілея. Закон додавання швидкостей. Механічний принцип відносності. Неінерціальні системи відліку. Сили інерції. Сили інерції в обертальних системах відліку. Сила Коріоліса. Відцентрова сила інерції. Вплив обертання Землі на рух тіл	46
Контрольні запитання і завдання	53
Розділ 3. Гравітаційне поле Землі. Сили в механіці. Енергія. Робота. Закони збереження в механіці	54
§ 3.1. Рухи планет. Закони Кеплера. Закон всесвітнього тяжіння	54

§ 3.2. Сила тяжіння. Прискорення сили тяжіння. Вага тіла. Невагомість. Перевантаження. Залежність прискорення сили тяжіння від: висоти, глибини, географічної широти, густини Землі. Формула А. Клеро. Гравіметрія. Інертна та гравітаційна маси	57
§ 3.3. Принцип далекодії й близькодії. Гравітаційне поле Землі і його характеристики. Зв'язок між потенціалом і напруженістю поля сил тяжіння. Перші і другі похідні потенціалу сил тяжіння. Припливоутворювальна сила. Припливи й відпливи на Землі. Внутрішня будова і фізичні параметри Землі. Сили тертя	63
§ 3.4. Енергія. Робота. Консервативні і неконсервативні сили. Потенціальні і непотенціальні поля. Робота сили тяжіння. Потужність. Кінетична і потенціальна енергії. Кінетична енергія Землі. Аналогія між поступальним і обертальним рухами	74
§ 3.5. Закони збереження в механіці. Реактивний рух. Зіткнення. Умови рівноваги в механіці. Космічні швидкості. Геостаціонарні супутники – моніторинг атмосфери і розвідка надр	83
Контрольні запитання і завдання	93
Розділ 4. Течія рідин і газів	94
§ 4.1. Тиск в нерухомих рідинах і газах. Закон Паскаля. Сполучені посудини. Закон Архімеда. Плавучість тіл	94
§ 4.2. Течія рідин і газів. Рівняння нерозривності течії. Рівняння Бернуллі і деякі задачі гідродинаміки	98
§ 4.3. Течія в'язкої рідини. Сила внутрішнього тертя. Формула Пуазейля. Число Рейнольдса	104
§ 4.4. Рух тіл у рідинах і газах. Формула Стокса. Течія підземних вод. Закон Дарсі. Океанські течії. Енергія води й гідроелектростанції	108
Контрольні запитання і завдання	111
Частина 2. МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА І ТЕРМОДИНАМІКА	113
Розділ 5. Основи молекулярно-кінетичної теорії газів.	113
Газові закони. Явища в атмосфері Землі. Явища переносу	
§ 5.1. Перебування речовини в різних агрегатних станах. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії речовини. Молекулярно-кінетичний і термодинамічний методи.	113

Макроскопічні параметри речовини. Абсолютна температура.	
Температурні шкали	
§ 5.2. Кількість речовини. Молярна маса. Рівняння стану. Ідеальний газ. Рівняння Клапейрона–Менделєєва. Основні закони ідеального газу. Тиск газу. Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії газу	118
§ 5.3. Атмосфера Землі. Атмосферний тиск. Барометрична формула. Температура атмосфери. Фізичні процеси в атмосфері. Прозорість і непрозорість атмосфери. Озонова діра. Парниковий ефект	124
§ 5.4. Розподіл Больцмана. Розподіл Максвелла. Найбільш характерні швидкості газових молекул і атмосфера Землі	131
§ 5.5. Реальні гази. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Теоретичні й експериментальні ізотерми реального газу. Критичний стан речовини. Визначення критичних параметрів. Зрідження газів	134
§ 5.6. Середня довжина вільного пробігу молекул. Ефективний діаметр молекул. Вакуум. Загальне уявлення про явища переносу	138
§ 5.7. Дифузія. Коефіцієнт дифузії. Дифузія через напівпроникні перетинки і капіляри. Осмос. Осмотичний тиск	141
§ 5.8. Теплопровідність. Коефіцієнт теплопровідності. Конвекція. Променевий теплообмін. Конвекція й променевий теплообмін у природі. Теплопередача у гірських породах	144
§ 5.9. Внутрішнє тертя. Коефіцієнт внутрішнього тертя. Надплинна рідина. Фізичні властивості вуглеводневих газів	149
§ 5.10. Особливості явищ переносу у розріджених газах. Теплоізоляція	153
Контрольні запитання і завдання	154
Розділ 6. Рідини й тверді тіла	155
§ 6.1. Будова рідин. Стисливість рідин. Внутрішній тиск. Теплове розширення. Поверхневий натяг. Поверхнево-активні речовини. Адсорбція й буріння свердловин	155
§ 6.2. Поверхневі явища на границі рідини і твердого тіла, двох рідин. Флотація. Збагачення руди	160
§ 6.3. Тиск під викривленою поверхнею рідини. Формула Лапласа. Явище капілярності	162
§ 6.4. Випаровування і кипіння рідин. Вологість повітря. Точка роси. Хмари. Пружність насиченої пари над кривою поверхнею рідини. Утворення краплі дощу. Штучний дощ.	164

Смоги	
§ 6.5. Фізичні характеристики води й нафти. Елементи фізики гідросфери Землі. Забруднення водних ресурсів	172
§ 6.6. Тверді тіла. Кристалічна решітка. Моно- і полікристали. Мінерали. Пружні властивості твердих тіл. Рідкі кристали і полімери	180
§ 6.7. Плавлення та кристалізація твердих тіл. Фазові переходи. Потрійна точка	191
Контрольні запитання і завдання	195
Розділ 7. Основи термодинаміки. Теплоємність. Ізопроцеси	196
§ 7.1. Основні поняття й означення. Внутрішня енергія системи. Робота і теплота – форми передавання енергії	196
§ 7.2. Розподіл енергії за ступенями вільності молекул. Внутрішня енергія ідеальних і реальних газів	198
§ 7.3. Перший принцип термодинаміки. Вічний двигун першого роду. Теплоємність речовини. Закон Дюлонга і Пті. Робота газу	201
§ 7.4. Термодинаміка ізопроцесів. Теплоємність газів. Рівняння Майера. Адіабатний процес. Рівняння Пуассона	205
§ 7.5. Другий принцип термодинаміки. Оборотні і необоротні процеси	208
§ 7.6. Тепловий двигун. Цикл Карно. ККД. Вічний двигун другого роду. Теплові двигуни, теплові електростанції й довокільця. Тепловий насос	210
§ 7.7. Ентропія. Закон зростання ентропії. Ентропія і другий принцип термодинаміки. Теплова «смерть» Всесвіту	213
Контрольні запитання і завдання	217
Частина 3. ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ	219
Розділ 8. Електричне поле	219
§ 8.1. Електричний заряд. Закон збереження електричного заряду. Точковий заряд. Закон Кулона. Теорема Ірншоу. Діелектрична проникність середовища	219
§ 8.2. Напруженість електростатичного поля. Принцип суперпозиції. Лінії напруженості	222
§ 8.3. Робота сил електростатичного поля. Потенціальність поля. Потенціал. Зв'язок між напруженістю й потенціалом. Еквіпотенціальні поверхні	224
§ 8.4. Розподіл електричних зарядів. Потік вектора \vec{E} .	227

Теорема Гаусса для вектора \vec{E} у вакуумі. Електричне поле рівномірно зарядженої нескінченної площини, двох площин	
§ 8.5. Провідники в електростатичному полі. Електростатична індукція. Електростатичний захист. Вістря	230
§ 8.6. Діелектрики в електростатичному полі. Електричний диполь. Вектор поляризації. Види поляризації. Сегнетоелектрики. П'єзоелектричний ефект. П'єзоелектричні сейсмографи	232
§ 8.7. Зв'язок вектора поляризації \vec{P} з вектором напруженості \vec{E} . Діелектрична сприйнятливність речовини. Вектор електричної індукції \vec{D} . Зв'язок між векторами \vec{D} і \vec{E} . Графічне зображення електричного поля в діелектрику	236
§ 8.8. Електроємність. Конденсатори. З'єднання конденсаторів. Енергія зарядженого конденсатора. Енергія електричного поля. Електричне поле Землі.	238
Контрольні запитання і завдання	243
Розділ 9. Постійний електричний струм. Електричний струм в речовині. Плазма	244
§ 9.1. Сила і густина електричного струму. Конвекційні струми. Сторонні сили. Електрорушійна сила і напруга	244
§ 9.2. Закони Ома. Електричний опір. Надпровідність. Напівпровідники. Закон Джоуля–Ленца. Потужність постійного струму	248
§ 9.3. Кола постійного струму. Послідовне і паралельне з'єднання резисторів. Правила Кірхгофа. Дія електричного струму на живий організм. Заземлення. Запобіжники	252
§ 9.4. Електричний струм у газах. Іонізація газів. Несамостійний і самостійний газові розряди. Блискавка. Громовідвід. Плазма. Електропровідність атмосфери Землі	257
§ 9.5. Електричний струм у рідинах. Електроліти. Електролітична дисоціація. Електроліз. Закони Фарадея для електролізу. Фізичні основи електророзвідки	263
Контрольні запитання і завдання	266
Розділ 10. Магнітне поле	267
§ 10.1. Індукція магнітного поля. Лінії індукції. Принцип суперпозиції. Закон Біо, Савара і Лапласа. Магнітне поле прямого провідника зі струмом	267
§ 10.2. Магнітний потік. Теорема Гаусса для магнітного поля.	271

Магнітне поле соленоїда	
§ 10.3. Сила Ампера. Сила Лоренца. Рух заряджених частинок у постійному магнітному полі. Полярні сьйва. Мас-спектрометрія. МГД-генератор	273
Контрольні запитання і завдання	277
Розділ 11. Магнітне поле в речовині. Магнітні властивості речовини	278
§ 11.1. Магнітні моменти електронів і атомів. Спін. Вектор намагніченості. Циркуляція вектора намагніченості	278
§ 11.2. Напруженість магнітного поля (\vec{H}). Циркуляція вектора \vec{H} . Зв'язок між векторами \vec{j} і \vec{H} . Магнітна сприйнятливість. Магнітна проникність. Зв'язок між векторами \vec{B} і \vec{H}	281
§ 11.3. Магнітні властивості речовини. Діамагнетики. Парамагнетики. Закон Кюрі. Феромагнетики. Магнітний гістерезис. Домен. Температура Кюрі. Постійні магніти	283
Контрольні запитання і завдання	288
Розділ 12. Електромагнітна індукція. Змінний електричний струм	289
§ 12.1. Явище електромагнітної індукції. Закон Фарадея. Правило Ленца. Вихрове електричне поле. Закон електромагнітної індукції в інтегральній формі. Вихрові струми. Скін-ефект	289
§ 12.2. Явище самоіндукції. Індуктивність соленоїда. Взаємна індукція. Трансформатор	292
§ 12.3. Енергія магнітного поля. Магнітне поле Землі. Магнітні бурі. Магнітосфера Землі й радіаційний фон. Магнітне поле і біологічні об'єкти. Магніторозвідка. Палеомагнітні дослідження	295
§ 12.4. Обертання рамки в магнітному полі. Змінний електричний стум. Електрогенератори. Електродвигуни. Ємність та індуктивність у колах змінного струму. Закон Ома для змінного струму. Електричний резонанс. Потужність змінного струму	302
Контрольні запитання і завдання	310
Розділ 13. Рівняння Максвелла для електромагнітного поля	311
§ 13.1. Струм зміщення. Основні положення теорії електромагнітного поля Максвелла	311

§ 13.2. Система рівнянь Максвелла в інтегральній формі.	313
Контрольні запитання і завдання	315
Розділ 14. Механічні коливання і пружні хвилі	315
§ 14.1. Загальна характеристика коливальних процесів.	315
Гармонічні коливання. Гармонічний осцилятор. Механічна енергія гармонічних коливань. Маятники. Коливальний рух земної кори	
§ 14.2. Метод векторних діаграм. Додавання коливань однакового напрямку. Біття. Фігури Ліссажу	322
§ 14.3. Згасаючі коливання і їхні характеристики. Вимушені коливання. Резонанс. Явища резонансу в природі	326
§ 14.4. Пружні хвилі. Фронт хвилі. Хвильова поверхня. Поширення пружних хвиль в різних середовищах. Рівняння хвилі. Фазова і групова швидкості. Енергія пружної хвилі. Вектор Умова	331
§ 14.5. Інтерференція хвиль. Стоячі хвилі. Дифракція хвиль. Принцип Гюйгенса. Сейсмічні хвилі. Землетруси. Цунамі. Сейсморозвідка	340
§ 14.6. Звукові хвилі. Швидкість поширення звукових хвиль у різних середовищах. Шуми. Ультразвук. Інфразвук. Модуляція хвиль. Ефект Доплера	349
Контрольні запитання і завдання	355
Розділ 15. Електромагнітні коливання і електромагнітні хвилі	356
§ 15.1. Коливальний контур. Власні електромагнітні коливання. Формула Томсона	356
§ 15.2. Електромагнітні хвилі. Випромінювання електромагнітних хвиль. Рівняння плоскої електромагнітної хвилі. Швидкість поширення хвилі. Енергія хвилі, потік енергії. Вектор Пойнтінга	358
§ 15.3. Шкала електромагнітних хвиль. Прозорість і непрозорість речовини для електромагнітної хвилі. Закон Бугера–Ламберта. Прозорість атмосфери. Поширення радіохвиль. Електромагнітне забруднення	361
Контрольні запитання і завдання	367
Частина 4. ОПТИКА	369
Розділ 16. Погляди на природу світла. Основи фотометрії.	369
Основні закони геометричної оптики	
§ 16.1. Розвиток уявлень про природу світла. Джерела світла.	369

Основні фотометричні величини	
§ 16.2. Поширення світла. Принцип П. Ферма. Основні закони геометричної оптики. Показник заломлення. Повне внутрішнє відбивання. Рефрактометрія. Рефракція світла. Міражі	374
§ 16.3. Тонка лінза. Зображення в оптичних системах. Аберації оптичних систем. Оптичний мікроскоп	379
Контрольні запитання і завдання	386
Розділ 17. Хвильові властивості світла	387
§ 17.1. Світлова хвиля. Інтерференція світла. Інтерференція світла при відбиванні від тонких пластинок. Кільця Ньютона. Практичне застосування інтерференції	387
§ 17.2. Дифракція світла. Принцип Гюйгенса–Френеля. Метод зон Френеля. Дифракція Френеля. Дифракція Фраунгофера. Дифракційні решітки. Спектральні характеристики приладу. Голографія	394
§ 17.3. Поляризація світла. Природне і поляризоване світло. Поляризатори. Закон Малюса. Поляризація світла при відбиванні. Закон Брюстера. Подвійне заломлення променів. Поляріди. Призма Ніколя	405
§ 17.4. Обертання площини поляризації. Поляриметр. Ефект Фарадея. Штучна оптична анізотропія. Ефект Керра	410
Контрольні запитання і завдання	413
Розділ 18. Поширення світла в речовині. Тепловий стан поверхні Землі	415
§ 18.1. Дисперсія світла. Нормальна та аномальна дисперсії. Електронна теорія дисперсії	415
§ 18.2. Поглинання світла. Спектри поглинання. Прозорість мінералів. Кольори тіл	419
§ 18.3. Розсіяння світла. Оптичні явища в атмосфері. Жива природа і світло	421
§ 18.4. Джерела тепла поверхневого шару Землі. Сонячна радіація. Сонячна стала. Альbedo	424
Контрольні запитання і завдання	426
Розділ 19. Квантова природа випромінювання	427
§ 19.1. Теплове випромінювання і люмінесценція. Випромінювальна і поглинальна здатності тіла. Абсолютне чорне тіло. Закон Кірхгофа. Чорна діра	427
§ 19.2. Закони випромінювання чорного тіла. Формула Планка. Кванти світла. Оптична пірометрія. Лампи	432

розжарювання	
§ 19.3. Фотоефект. Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту. Червона межа фотоефекту. Фотоелементи	436
Контрольні запитання і завдання	438
Розділ 20. Хвильові властивості речовини	439
§ 20.1. Хвилі де Бройля. Дифракція електронів та інших частинок. Електронний мікроскоп	439
§ 20.2. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга.	441
Рівняння Шредінгера	
Контрольні запитання і завдання	443
Частина 5. ЕЛЕМЕНТИ ФІЗИКИ АТОМА Й АТОМНОГО ЯДРА	444
Розділ 21. Будова атома. Види спектрів випромінювання. Лазери. Рентгенівське випромінювання. Спектральний аналіз	444
§ 21.1. Модель атома Резерфорда. Постулати Бора. Теорія Бора атома водню. Стала Рідберга і спектральні лінії. Розподіл електронів в атомі. Принцип Паулі	444
§ 21.2. Види спектрів випромінювання. Лінійчасті спектри. Спектральний аналіз. Поглинання молекулами атмосфери УФ та ІЧ випромінювання	453
§ 21.3. Спонтанне і вимушене випромінювання. Лазери.	457
Лідари	
§ 21.4. Рентгенівське випромінювання. Дифракція рентгенівського випромінювання. Рентгеноструктурний аналіз	459
Контрольні запитання і завдання	462
Розділ 22. Елементи фізики атомного ядра	463
§ 22.1. Склад і основні характеристики атомного ядра. Енергія зв'язку ядер. Дефект маси	463
§ 22.2. Ядерні сили. Моделі ядер	466
§ 22.3. Радіоактивність. Закон радіоактивного розпаду. Період піврозпаду. Активність радіоактивної речовини	469
§ 22.4. Ядерні випромінювання. Правила зміщення.	471
Радіоактивні сім'ї. Резонансне поглинання γ -випромінювання. Ефект Мессбауера	
§ 22.5. Штучна радіоактивність. Радіоактивність у природі. Вік гірських порід і радіоактивність. Радіоактивний годинник. Радіоактивні методи в геології	476
§ 22.6. Експериментальні методи реєстрації радіоактивних	480

випромінювань. Гамма-каротаж	
§ 22.7. Біологічна дія іонізуючого випромінювання.	482
Дозиметрія. Захист від випромінювання	
Контрольні запитання і завдання	486
Розділ 23. Ядерна енергетика. Космічні промені.	487
Антиречовина	
§ 23.1. Джерела енергії. Кислотні дощі. Ядерні реакції поділу	487
§ 23.2. Ланцюгова реакція і види реакторів. Атомна	489
електростанція. Атомна бомба	
§ 23.3. Реакції синтезу атомних ядер. Термоядерна реакція.	495
Воднева бомба. Ядерна ніч. Ядерна зима	
§ 23.4. Космічні промені. Радіаційні пояси Землі.	498
Антиречовина	
Контрольні запитання і завдання	501
Довідковий матеріал	501
Предметний покажчик	503