

Б. К. Остафійчук, М. М. Яцура, А. М. Гамарник

Ф І З И К А

**Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як
підручник для студентів вищих навчальних закладів**

За редакцією д-ра фіз.-мат. наук, проф. Б. К. Остафійчука

Івано-Франківськ
2009

ББК 22.38 -я 73

О76

УДК 53(075.8)

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як підручник для студентів вищих навчальних закладів (лист Міністерства освіти і науки України № 1.4/18 – Г – 2698 від 15.12.2008)

Фізика: Підручник /Б. К. Остафійчук, М. М. Яцура, А. М. Гамарник/. – Івано-Франківськ.: Видавничо-дизайнерський відділ ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2009. – 553 с.

В підручнику на основі сучасних уявлень викладені фізичні основи механіки, термодинаміки, електрики і магнетизму, оптики, фізики атома і атомного ядра. На багатьох прикладах показано конкретні зв'язки фізики і біології.

Для студентів біологічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

Підручник може бути використаний і студентами інших не фізичних спеціальностей вищих навчальних закладів.

Табл. 54. Ілюстр. 483. Задач 221. Бібліогр.: 25 назв.

Рецензенти: д-р фіз.-мат. наук, проф. Маслов В.В.,
д-р фіз.-мат. наук, проф. Климишин І. А.,
д-р біол. наук, проф. Мойсеєнко М. І.

© Б.К. Остафійчук, М.М. Яцура,
А.М. Гамарник, 2009

© ВДВ ЦІТ Прикарпатського
національного університету
імені Василя Стефаника, 2009

ISBN

ПЕРЕДМОВА

Пропонований увазі читача підручник фізики адресується впершу чергу студентам біологічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Сьогодні є чимало навчальних посібників з фізики, які використовуються студентами вказаних спеціальностей, однак, переважна більшість із них написані на не державній мові та без будь-якого зв'язку з біологією.

Ми ставили собі за мету створити підручник з фізики з максимальним врахуванням спеціалізації вказаних вище спеціальностей. Наскільки це нам вдалося, судити вам, дорогі читачі.

В книзі у відповідності з діючими навчальними програмами для біологічних спеціальностей з позицій сучасної фізичної науки розглянуто фізичні основи механіки, основні явища молекулярної фізики і термодинаміки, електрики і магнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра. Центральна увага при цьому приділена формулюванню основних фізичних понять та законів вказаних розділів фізики. Поряд з тим в книзі висвітлено будову і фізичні принципи роботи ряду фізичних приладів, які успішно використовуються для наукових досліджень в біології. В книзі наведені короткі біографічні довідки про творчий шлях вчених-фізиків, які залишили по собі особливо глибокий слід у фізичній науці. Сподіваємось, що це буде не тільки цікаво, але і корисно для читача. Кожна інтелігентна людина повинна знати хоча б імена тих вчених, які своєю плідною працею і допитливим розумом підготували величне сучасне фізичне науки.

В підручнику зроблена спроба показати роль і місце фізичних принципів у функціонуванні живих систем та місце фізичних методів при дослідженні біологічних об'єктів. З цією метою в книзі наведено чимало прикладів з біологічним змістом, які дозволять студентам краще зрозуміти роль фізичних явищ в біологічних системах, а велика кількість розв'язаних задач у підручнику допоможуть читачу краще збагнути суть фізичних явищ, необхідних для успішного засвоєння фахових дисциплін.

Особливістю книги є і те, що для пояснення фізичних явищ використано, без шкоди для книги, елементарний математичний апарат, який цілком доступний студентам вказаних спеціальностей.

При написанні підручника були використані існуючі підручники, посібники і наукові монографії з фізики, біологічної і медичної фізики та досвід читання авторами курсу фізики студентам різних спеціальностей вищих навчальних закладів.

Перше видання даного курсу було здійснено невеликим тиражем у вигляді трьох окремих навчальних посібників, рекомендованих МОН України для студентів ВНЗ у 2004 – 2006 рр. (вид-во „Гостинець”, Івано-Франківськ). Даний підручник є наступним доповненням і виправленим виданням з врахуванням побажань і критичних зауважень колег по роботі, користувачів і рецензентів.

Хоча даний підручник адресовано впершу чергу студентам біологічних спеціальностей, він може бути з успіхом використаний і студентами інших природничих спеціальностей ВНЗ.

Вважаємо приємним обов'язком виразити щире вдячність рецензентам: доктору фізико-математичних наук, професору Маслову В.В., доктору фізико-математичних наук, професору Климишину І.А. і доктору біологічних наук, професору Мойсеєнко М.І. за цінні поради і доброзичливі зауваження, які враховані при остаточному редагуванні книги. Ми вдячні також співробітникам кафедри матеріалознавства і новітніх технологій Прикарпатського національного університету ім. В. Стефаника Гладій Н.В., Кайкан Л.С., Морушко О.В., Яблонь Л.С., Яремій С.І., Яцура О.Р., які приймали участь в роботі над книгою.

Відгуки, пропозиції і побажання, щодо поліпшення підручника, авторами будуть сприйняті і враховані з вдячністю.

Автори

1 ВСТУП

“Ні один результат біологічного дослідження не може бути однозначно описаний інакше, ніж на основі понять фізики і хімії”.

Нільс Бор

§ 1.1 Предмет фізики

Що таке блискавка і чому вона супроводжується гуркотом грому? Чому і як ми чуємо і бачимо? Чому одні метали важчі за інші і чому одні метали піддаються корозії, а інші ні? Чому ми бачимо зображення на телеекрані? Чому? Чому? Чому?...

На ці, та багато інших запитань дає відповідь фізика. Однак, вона не тільки дає відповіді на ті чи інші запитання, вона дозволяє передбачати і створювати нове, розуміти і проникати у невідоме. Із того, що ми пізнаємо за допомогою фізики, формуються нові уявлення, відтворюються нові явища. І коли фізика дає відповіді на ті чи інші запитання, завжди виникають нові, часто складніші за попередні, запитання. Деякі із цих запитань ніколи б не виникли, якби їх не поставила саме фізика.

То, що ж таке фізика? Перш за все, фізика – це наука, яка є однією із найстародавніших наук. Грецьке слово **“physis”** в перекладі означає “природа”, тому науку про природу стали називати **фізикою**. Починаючи з XVII ст., відбувається швидкий розвиток фізики. Із неї з часом виділяються нові науки про природу, наприклад, хімія. Всі науки, які вивчають явища природи, стали називати **природничими науками** (хімія, біологія, астрономія, геологія тощо).

Таким чином, природа є предметом вивчення багатьох наук, однією із яких є фізика. Сучасна фізика вивчає макротіла, молекули, атоми, атомні ядра, елементарні частинки, гравітаційне, електромагнітне і ядерне поля та їх взаємозв’язок і взаємоперетворення. Є чимало визначень фізики як науки, які в тій чи іншій мірі відбивають її зміст. На наш погляд найбільш повним визначенням фізики як науки є таке: **“Фізика є частиною природознавства, яка експериментальними методами, теоретичними узагальненнями і передбаченнями вивчає прості, але найзагальніші властивості і об’єктивні просторово-часові закони руху матерії, кількісні і якісні її зміни, пов’язані з будовою, взаємодією і перетворенням усіх її видів і станів”**. Таке визначення фізики відповідає її сучасному стану, вказує на її межі та зв’язок з іншими науками.

Фізика – наука дослідна, експериментальна. Однак, фізичним дослідом (експериментом) є не кожне вимірювання, а тільки те, в якому всі впливи на досліджувану систему піддаються врахуванню, здебільшого вимірюванню.

Важливою властивістю фізичного експерименту є його повторюваність. Повторення

фізичного експерименту в іншій лабораторії з вимірювальними приладами інших конструкторів повинно дати ті ж результати, що і в першому досліді.

Чимало фізичних явищ можна відтворити в лабораторних умовах, однак, не всі. Наприклад, в лабораторії не можна відтворити умови, в яких знаходиться речовина на Сонці, не вдається отримати штучну кульову блискавку. Для вивчення цих і подібних явищ користуються природними спостереженнями.

Важливою частиною фізики сьогодні є точні вимірювання. Не дивлячись на те, що фізику часто називають точною наукою, ні одне вимірювання не є абсолютно точним, тобто з кожним вимірюванням неодмінно зв'язана деяка похибка. Тому, представляючи вимірювання, необхідно вказувати і точність цього вимірювання, тобто оцінку **похибки** або **абсолютної похибки**. Наприклад, виміряну напругу в побутовій електричній мережі слід записати так: $U = 220 \pm 1$ В, де ± 1 В є абсолютна похибка вимірювання. Точність вимірювання часто характеризують величиною відносної похибки, яка дорівнює відношенню абсолютної похибки до виміряного значення (і помноженого на 100, якщо це відношення потрібно виразити у відсотках). В наведеному вище прикладі відносна похибка рівна

$$\frac{1}{220}100 = 0,5 \, \%$$

Різні величини доступні вимірюванню з різною точністю. Підвищення точності вимірювань розширює можливості пізнання оточуючого світу і тому є важливою науковою і технічною проблемою.

На основі результатів фізичних експериментів формулюються фізичні закони, кожний із яких в кінцевому рахунку є узагальненням деякої сукупності дослідних фактів. Законом, як правило, називають **деякі короткі, але достатньо загальні твердження відносно характеру явищ природи** (наприклад, закони збереження енергії або імпульсу, закони термодинаміки тощо). Іноді подібне твердження набуває форми певного математичного співвідношення між величинами, які описують явище (наприклад, закон всесвітнього тяжіння Ньютона, згідно якого $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$).

Для того, щоб мати право називатися законом, твердження повинно витримати експериментальну перевірку в широкому класі спостережуваних явищ.

Дослідні факти, використані для формулювання даного фізичного закону, завжди обмежені як за точністю проведених вимірювань, так і за областю вимірювання фізичних величин (обмежені інтервали температур, тисків, розмірів тощо). Тому кожний фізичний закон має певну область застосування. Фізичні закони, які мають найбільш обширні області застосування, називають **фундаментальними**. Наприклад, **фундаментальними законами є закон збереження енергії, закони Ньютона, закон Кулона тощо**. Закон Ома або закон Ампера, наприклад, не є фундаментальними законами.

Насамкінець зауважимо, що досліді можуть призвести до зміни меж застосування будь-якого закону і будь-якої теорії.

§ 1.2. Фізичні величини та одиниці їх вимірювання

Більшість фізичних законів виражаються у вигляді математичних співвідношень між фізичними величинами. Під останніми розуміють вимірювані характеристики фізичних об'єктів (предметів, станів, процесів). Слід пам'ятати, що саме поняття фізичної величини, як правило, має обмежену область застосування.

Вимірювання будь-якої фізичної величини проводиться по відношенню до певного стандарту або одиниці цієї величини, і ці величини обов'язково повинні наводитися ра-

зом з числовим значенням результату. Наприклад, час = 5 секунд ($t = 5 \text{ с}$) означає, що виміряний час складає п'ятикратне повторення секунди.

Всі фізичні величини можна розділити на два класи: **основні і похідні величини**. Одиниці вимірювання, які відповідають цим величинам, також називаються **основними і похідними одиницями**. В фізиці сьогодні застосовуються 7 основних величин; для СІ* вони наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Основні величини СІ і одиниці їх вимірювання

Величина	Одиниця	Скорочене позначення
Довжина	метр	м
Час	секунда	с
Маса	кілограм	кг
Сила струму	ампер	А
Температура	кельвін	К
Кількість речовини	моль	моль
Сила світла	кандела	кд

Всі інші величини можна отримати, використовуючи вирази фізичних законів, або шляхом доцільного визначення через множення або ділення основних величин. Наприклад:

$$\text{Швидкість} = \frac{\text{Шлях}}{\text{Час}};$$

$$\text{Робота} = \text{Сила} \cdot \text{Шлях};$$

$$\text{Густина} = \frac{\text{Маса}}{\text{Об'єм}};$$

$$\text{Заряд} = \text{Сила струму} \cdot \text{Час}.$$

Основні величини за визначенням не можуть бути виражені через інші величини, саме тому вони і називаються основними.

Велике значення в фізиці відіграють фізичні величини, які називають фізичними константами. Їх, подібно до фізичних законів, розрізняють за ступенем фундаментальності, тобто за областю застосування. Найбільш важливі фізичні константи називають універсальними – це величини, які входять в якості кількісних коефіцієнтів в математичні вирази фундаментальних фізичних законів або є характеристиками мікрооб'єктів. Таких констант є вісім: **швидкість світла у вакуумі; стала Планка; заряд електрона; маси електрона, протона, нейтрона; гравітаційна стала і стала слабкої взаємодії**. Через ці константи можна отримати цілий ряд інших констант, які мають вужчу область застосування. Важливо підкреслити, що всі фізичні сталі є об'єктивними характеристиками оточуючого нас світу.

Фізичні величини поділяють на **скалярні і векторні**. **Скалярні величини** повністю характеризуються числовим значенням і одиницею вимірювання (наприклад, час t , температура T , електричний заряд Q , маса m тощо). Скалярні величини можуть мати як додатні, так і від'ємні значення (виключення складає тільки температура за шкалою Кельвіна, яка має тільки додатні значення).

Векторна величина характеризується числовим значенням, одиницею вимірювання і напрямком (наприклад, швидкість, сила, прискорення тощо). Для того, щоб підкресли-

* СІ – Міжнародна система одиниць

ти векторний характер величини, над її звичайним позначенням ставиться стрілка: \vec{V} , \vec{F} , \vec{a} , або виділяється жирним позначенням в тексті. Якщо напрямок векторної величини не істотний, а важливе лише числове значення і одиниця вимірювання, яке називають величиною вектора \vec{A} , то записують $|\vec{A}|$ або просто A .

§ 1.3. Фізика і біологія

Як уже відмічалось вище, наука древніх була єдиною, і поняттям “фізика” позначалась вся сукупність відомостей про неживу і живу природу. В цій єдності одночасно була і сила, і слабкість. Згодом відбулося розділення фізики на дві галузі знань: про живе і неживе. Вперше термін “біологія” зустрічається в працях французького природодослідника Ж. Б. Лемарка (1744 – 1829), попередника Ч. Дарвіна (1809 – 1882). Однак, щоб самотійно існувати, біологія повинна була визначити свій предмет дослідження, провести межу між живим і неживим. На певному етапі розвитку були зроблені висновки, що живе має свої особливі закони, які до неживої природи ніякого відношення не мають. Однак, під тиском окремих фактів час від часу виникали сумніви: невже закони живого і неживого різні?

Так, у 1628 р. на основі кількісних вимірювань і застосування законів гідравліки англійський лікар В. Гарвей (1578 – 1657) пояснив механізм кровообігу. Р. Декарт (1596 – 1650) і Г. Лейбніц (1646 – 1716) висловили ідею, що механічні закони для неживої і живої систем ідентичні. Французькі вчені А. Лавуазьє (1743 – 1794) і П. Лаплас (1749 – 1827) на досліді показали, що в основі дихання і виділенні тепла в тілі людини і тварин лежать ті ж процеси окислення, які відбуваються і поза ними. “В матеріальних частинках організмів не виявляється ніяких нових сил, які не могли б діяти поза ними” – писав в середині XIX ст. німецький фізик Дюбуа-Реймон (1818 – 1896) в книзі про тваринну електрику. В 1892 р. англійський математик К. Пірсон в “Траматичі науки” відмічав: “Уже зараз уявляється майже безсумнівно, що деякі узагальнення фізики – особливо великий принцип збереження енергії – описує, по крайній мірі, частину нашого чуттєвого досвіду відносно життєвих форм. Потрібна, значить, галузь науки, яка б мала своїм завданням застосування законів неорганічних явищ, або фізики до розвитку органічних форм. Така наука, яка пробує показати, що факти біології: – морфології, ембріології і фізіології – утворюють часткові випадки застосування загальних фізичних законів, отримала назву **етіології**. Мабуть, краще було б її назвати **біофізикою**. Біофізика на сьогодні ще не зробила особливих успіхів, але немає нічого неймовірного в тому, що їй належить велике майбутнє”.

Таким чином, методи фізики, хімії, математики, хоч і з трудом, все ширше проникали в область біології.

В середині XX ст. датський фізик Н. Бор (1885 – 1962), один із творців квантової фізики, лауреат Нобелівської премії писав: “Ні один результат біологічного дослідження не може бути однозначно описаний інакше, ніж на основі понять фізики і хімії”. Далі Бор вказує, що відкриття структур спеціального призначення, які несуть генетичну інформацію, відбулося на основі добре встановлених принципів атомної фізики. Н. Бор, продовжуючи свої роздуми про зв’язок фізики і біології, говорить, що “... у нас немає причини очікувати якогось внутрішнього обмеження для застосування елементарних фізичних і хімічних понять до аналізу біологічних явищ”.

Останні десятиріччя повністю підтвердили передбачення Н. Бора – великого фізика XX-ого сторіччя. Природа єдина, а поділ на науки умовний. Про тісний зв’язок фізики і біології свідчить відносно молода наука – біофізика, якій сьогодні відводять особливу роль при розв’язку проблеми впливу на оточуюче середовище і здоров’я людини, практичної діяльності мешканців планети Земля.