

УДК 378.147

**Школа О. В.
Бердянський державний педагогічний університет**

МЕТОДИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПЕРШОГО ЗАКОНУ ТЕРМОДИНАМІКИ В КУРСІ ТЕРМОДИНАМІКИ І СТАТИСТИЧНОЇ ФІЗИКИ

У статті проводиться короткий аналіз методики викладання першого закону термодинаміки в курсі теоретичної фізики, що має важливе професійно-педагогічне значення в підготовці майбутнього вчителя фізики.

Ключові слова: термодинамічна система, внутрішня енергія, ентропія.

Основною метою курсу теоретичної фізики педагогічного вишу є створення у студентів найповнішого уявлення про сучасну фізичну картину світу, формування їх наукового світогляду, стилю мислення, уміння застосовувати набуті знання під час розв'язування практичних і теоретичних питань сучасної науки. Важливого значення при цьому має вивчення майбутнім фахівцем фундаментальних фізичних теорій, до числа яких, безперечно, відносять термодинаміку і статистичну фізику. Остання традиційно досліджує властивості різноманітних макроскопічних систем, тобто таких, що складаються з величезної кількості частинок. Від світу атомних ядер до Всесвіту в цілому – такий діапазон її застосувань.

Майбутньому фахівцю необхідно оволодіти обома способами вивчення макросистем – термодинамічним і статистичним – знати їх основні риси та якісні відмінності. Результатом навчання студентів має бути не тільки сума наукових знань, а й достатньо сформований рівень його компетентності за умов сучасного розвитку техніки та інформаційних технологій. Але озброєння майбутніх фахівців системою наукових знань не забезпечує автоматичного формування у них відповідних умінь і навичок. Формування вмінь з використання методів дослідження макросистем є досить тривалим процесом, який потребує знань і праці, це такий рівень культури мислення, на який студенти можуть піднятися тільки в результаті цілеспрямованої, спеціально організованої роботи з ними.

У розпорядженні викладача курсу термодинаміки і статистичної фізики сьогодні достатньо різноманітної навчально-методичної літератури. Серед них: російськомовні підручники А. Ансельма; І. Базарова; А. Василевського та В. Мултановського; Л. Ландау та Е. Ліфшица; підручники вітчизняних авторів Л. Булавина; Є. Венгера; С. Королюка, С. Мельничука та О. Валя; А. Федорченка, а також переклади таких іншомовних видань, як “Берклєєвський курс фізики”, “Фейманівські лекції з фізики”, “Статистична фізика” А. Зоммерфельда, Ч. Кіттеля, А. Райфа та ін. Незважаючи на методичну цінність цих видань, необхідність удосконалення методики викладання курсу в сучасних умовах модернізації вищої освіти, посилення фундаментальності та професійної спрямованості у підготовці майбутніх учителів фізики є цілком очевидною. Проте зменшення обсягу аудиторних годин, зміщення акцентів навчального навантаження в бік самостійної роботи стають певними перешкодами на шляху якісного засвоєння студентами основних питань навчального курсу.

До числа останніх, зокрема, можна віднести з'ясування фізичного змісту одного з фундаментальних законів сучасної науки – першого принципу термодинаміки. У навчальній літературі формулювання цього закону розглядається як само собою зрозуміле твердження,

яке відображає той факт, що *повна енергія замкненої системи за будь-яких процесів всередині залишається сталою і може лише переходити з однієї форми в іншу, від одного тіла до іншого*. На наш погляд, такий, дуже спрощений підхід не розкриває повною мірою методологічне й пізнавальне значення цього закону та формує у студентів догматичне сприйняття навколишнього світу, тому потребує спеціального аналізу.

Аналіз науково-методичної літератури свідчить про те, що різним аспектам удосконалення змісту й структури, методів, організаційних форм і засобів навчання фізики у вищій школі присвячені дослідження П. Атаманчука, Л. Благодаренко, І. Богданова, О. Бугайова, Б. Будного, Г. Бушка, С. Величка, С. Гончаренка, О. Іваницького, Л. Калапуші, А. Касперського, Е. Коршака, Д. Костюкевича, О. Ляшенка, М. Мартинюка, В. Савченка, О. Сергєєва, В. Сергієнка, Н. Сосницької, Б. Суся, І. Тичини, В. Шарко, М. Шута та ін. Зазначимо, що комплексні дослідження, присвячені науково-методичним засадам навчання курсу теоретичної фізики майбутнім учителям фізики, що відображають сучасні ідеї й тенденції розвитку вищої педагогічної освіти в контексті європейських вимог та дозволяють формувати їх професійну компетентність на сьогодні майже відсутні. Тому метою статті є короткий аналіз методики викладання першого закону термодинаміки в курсі теоретичної фізики, що має важливе професійно-педагогічне значення в підготовці майбутнього вчителя фізики.

На наш погляд, ефективному засвоєнню студентами фізичної сутності законів термодинаміки сприятиме максимальна лаконічність математичного апарату, логічність та послідовність викладу навчального матеріалу у відповідності з тим історичним шляхом, який проходила термодинаміка і статистична фізика у своєму розвитку.

Феноменологічна термодинаміка, як така, виникла на початку XIX ст. у зв'язку з потребами теплотехніки. Винахід універсального парового двигуна та швидкий розвиток машинного виробництва настійно вимагали дальшого його вдосконалення. Практичні потреби стимулювали вивчення властивостей газів і пари та сприяли становленню молекулярно-кінетичної теорії. Відкриття першого закону термодинаміки готувалося дослідженнями Д. Бернуллі (*“Теплота – це хаотичний рух частинок матерії... Скрізь, де підвищується внутрішній рух частинок, теплота збільшується”*), М. Ломоносова (*“Теплота полягає у внутрішньому русі матерії... Температура і рух частинок пропорційні ... Механічний рух тіла може і повинен переходити в теплоту”*), С. Карно (*“Теплота є не що інше, як рушійна сила або, скоріше, рух, який змінив свою форму... Максимум рушійної сили не може перевищувати отриманого тепла”*) [5, с. 322 – 323]. Важливого значення мали також й перші спроби визначення розмірів молекул Т. Юнгом (1816 р.), відкриття “броунівського руху” (1827 р.), графічні методи та рівняння стану ідеального газу Б. Клапейрона (1834 р.), експериментальне визначення А. Реньо теплофізичних констант (1840 р.) та ін. Як результат, на екваторі століття теорія теплецю зазнала повного краху і теплові явища стали пояснювати рухом мікрочастинок речовини. Зазначимо, що феноменологічна термодинаміка і ця теорія у першій половині XIX ст. розвивалися паралельно і значною мірою незалежно.

Між 1840 та 1850 рр. працями Ю. Майєра, Дж. Джоуля та Г. Гельмгольца було встановлено *перший закон термодинаміки*, який далі було узагальнено та прийнято як універсальний закон природи – принцип збереження та перетворення енергії. Згідно Ю. Майєру *“тепло виникає з руху... Рух і теплота являють собою явища, які вимірюються один одним і переходять один в одного... Тепло є сила: воно може бути перетворене в механічний ефект”*. За Дж. Джоулем *“у всіх випадках, коли витрачається механічна сила, виходить точна еквівалентна кількість теплоти... У будь-якій ізольованій системі запас енергії лишається сталим”*. Г. Гельмгольц стверджував, що *“неможливо при існуванні будь-якої довільної комбінації тіл природи отримувати безперервно з нічого рушійну силу...”*

Максимум роботи, яку можна отримати, є певним, кінцевим" [5, с. 326].

Отже, узагальнення великої кількості дослідних фактів про природу теплоти та її перетворення в механічну роботу свідчило про те, що в макроскопічних процесах та явищах спостерігаються переходи різних видів енергії у внутрішню енергію системи і навпаки. Кількісний бік цих взаємоперетворень сьогодні описують першим законом термодинаміки. Існує кілька його еквівалентних формулювань, але, по суті, він є *законом збереження та перетворення енергії для теплових процесів*: енергія не зникає і не виникає з нічого, вона лише переходить з однієї форми в іншу, від одного тіла до іншого. Застосування цього положення до теплових процесів історично означало відкриття внутрішньої енергії як виду енергії. (До цього природу теплових явищ розуміли як рух особливої субстанції – теплецю).

Внутрішня енергія системи змінюється тільки під час взаємодії з зовнішніми тілами, тому *енергія замкненої системи за будь-яких процесів всередині залишається сталою*. Кожному стану системи відповідає певне значення енергії, тобто *енергія замкненої системи виступає однозначною функцією її стану* (бо інакше це означало б дістати енергію з нічого). Математичним виразом першого закону термодинаміки слугує відоме рівняння:

$$\delta Q = dU + \delta A. (1)$$

Кількість теплоти δQ , що надається системі, витрачається на зміну її внутрішньої енергії dU та на виконання системою роботи δA проти зовнішніх сил. Оскільки внутрішня енергія є однозначною функцією стану системи її зміна не залежить від шляху переходу системи і визначається лише значеннями у початковому та кінцевому стані. З математичної точки зору це означає, що dU є повним диференціалом деякої функції стану системи. Значення Q та A , навпаки, суттєво залежать від характеру процесу, тому для їх розрахунку недостатньо знати тільки початковий та кінцевий стани системи: δQ і δA не є повними диференціалами деякої функції стану термодинамічної системи. Якщо не вказаний шлях переходу системи з одного стану в інший, то неможливо вказати, яка частина dU спричинена роботою, а яка – теплою.

Рівняння (1) важливе у тому відношенні, що воно безпосередньо вказує на можливість виконання системою механічної роботи за рахунок одержаної кількості теплоти, або інакше кажучи, можливість перетворення кількості теплоти в роботу. Враховуючи зміст поняття кількості теплоти, можна говорити фактично про можливість виконання роботи за рахунок внутрішньої енергії тіл. Для колового процесу $\Delta U = 0$, $\delta Q = \delta A$, звідки виходить *положення про неможливість існування вічного двигуна першого роду*, тобто періодично працюючої машини, яка б виконувала роботу, не запозичуючи енергію ззовні. Дійсно, коли $Q = 0$ то $A = 0$, тобто умовою роботи машини є обов'язкове отримання теплоти від зовнішніх тіл.

До сказаного слід додати деякі важливі міркування стосовно фізичних понять, які входять до рівняння першого закону термодинаміки – внутрішньої енергії, теплоти та роботи. Під *внутрішньою енергією* газу розуміють енергію теплового (поступального, обертального та коливального) руху молекул та потенціальну енергію їх взаємодії, енергію електронних оболонок в атомах та йонах, внутрішньоядерну енергію. Останні дві складові, як правило, не враховують, оскільки вони стають суттєвими за надвисоких температур ($> 10^4$). У випадку ідеального газу силами міжмолекулярної взаємодії нехтують, тому внутрішня енергія дорівнює сумі енергій хаотичного (теплого) руху всіх молекул: $dU = (i/2)\nu R dT$, де i – кількість ступенів вільності молекул газу.

Дослід показує, що внутрішня енергія ідеального газу залежить тільки від температури; відсутність її залежності від об'єму вказує на те, що молекули газу більший час не взаємодіють між собою. Внутрішня енергія має наступні властивості: а) у стані теплової рівноваги частинки макроскопічного тіла (системи) рухаються так, що їх повна енергія весь час і з високою точністю дорівнює внутрішній енергії тіла; б) внутрішня енергія тіла є однозначною функцією його макроскопічного стану; в) внутрішня енергія є адитивною величиною, тобто внутрішня енергія системи тіл дорівнює сумі внутрішніх енергій кожного тіла. Розглядаючи внутрішню енергію, як правило, відволікаються від макроскопічного руху системи як цілого та від дії на неї зовнішніх силових полів; вона залежить лише від параметрів, які характеризують внутрішній стан системи. Поняття внутрішньої енергії відносять до систем, які перебувають у стані термодинамічної рівноваги.

Частину внутрішньої енергії системи, яка передається зовнішньому середовищу в результаті теплообміну, називають *кількістю теплоти* або просто теплою, яку надано у такому процесі. Під теплообміном розуміють процес обміну внутрішніми енергіями між контактуючими тілами без виконання макроскопічної роботи. Зміна внутрішньої енергії тіла під час теплообміну, по суті, зумовлена також роботою певних зовнішніх сил, але це не макроскопічна робота, що пов'язана зі зміною зовнішніх параметрів. Вона виступає мікроскопічною роботою, тобто складається з робіт, що виконують молекулярні сили, з якими на молекули системи діють частинки зовнішнього середовища. Так, наприклад, за умов контакту двох тіл з різними температурами передача енергії від гарячого до холодного тіла здійснюється шляхом зіткнення їх молекул.

Студенти мають чітко усвідомлювати, що можливі два різних способи зміни внутрішньої енергії термодинамічної системи при взаємодії із зовнішніми тілами: шляхом виконання роботи (*у формі роботи*) та за теплообміну (*у формі теплоти*). Робота і теплота мають ту загальну властивість, що вони існують лише в процесі передачі енергії, а їх числові значення суттєвим чином залежать від виду цього процесу. Проте між теплою і роботою існує глибока якісна різниця, оскільки вони виступають нерівноцінними формами передачі енергії. Виконання роботи над системою може безпосередньо привести до збільшення будь-якого виду енергії системи (кінетичної, потенціальної, внутрішньої). Надання системі теплоти, тобто збільшення енергії хаотичного руху її частинок, безпосередньо призводить до збільшення внутрішньої енергії системи. Отже, *робота є макроскопічним способом передачі енергії від одного тіла до іншого*. Термін “макроскопічна” підкреслює той факт, що робота завжди пов'язана з макроскопічними переміщеннями тіл або їх частин. *Теплота є мікроскопічним способом передачі енергії*.

Таким чином, феноменологічна термодинаміка виходить з постулату про збереження енергії замкненої системи. При цьому в поняття внутрішньої енергії не вкладається конкретний зміст. Енергія термодинамічної системи розглядається як її здатність виконувати макроскопічну роботу або здійснювати теплообмін з іншими тілами. Оскільки властивості та глибинний фізичний зміст основних понять і законів термодинаміки був з'ясований тільки з появою ймовірнісних підходів до опису внутрішнього світу речовини, термодинамічне трактування першого принципу повинно бути доповнене статистичними уявленнями.

Як відомо, більшість реальних процесів є необоротними. Перший закон термодинаміки, незважаючи на фундаментальність, дає кількісний баланс енергії для будь-яких фізичних процесів, але не розкриває якісну різницю різних форм енергії і тому не може визначити напрям їх перебігу. Детальний аналіз теореми С. Карно привели Р. Клаузіуса у 1854 р. до відкриття другого закону термодинаміки та введення нової фізичної величини – ентропії S (від грецького *entropia* – “поворот”, “перетворення”): $\delta Q/T = dS$. Узагальнюючи вираз (1),

отримаємо:

$$dU \leq TdS - \delta A, (2)$$

де знак рівності відповідає рівноважним, а нерівності – нерівноважним (необоротним) процесам. Це співвідношення називають *основним термодинамічним рівнянням*. Пояснюючи необоротність макроскопічних процесів у природі, Л. Больцман у 1872 р. встановив статистичний зміст ентропії (кількісна міра ступеня молекулярного безладу в системі; параметр, що характеризує ступінь нерівноважності макроскопічного стану системи):

$$S = k \ln W_T, (3)$$

де W_T – термодинамічна ймовірність (статистична вага) стану системи (число способів, мікростанів), якими може бути реалізований макроскопічний стан системи). Після фундаментального відкриття Л. Больцмана статистичне трактування законів термодинаміки стали пов'язувати з поняттям ентропії. Так, згідно означення простежується тісна аналогія між ентропією і внутрішньою енергією системи. По-перше, обидві величини є однозначними функціями стану системи, а їх прирости – повними диференціалами. По-друге, означеннями обох функцій є диференціальні рівняння, які дають можливість знаходити лише їх зміни, По-третє, обидві величини є адитивними величинами.

Оскільки усі частинки системи (атоми, молекули) володіють квантовими властивостями, то найповніший і послідовний підхід при вивченні термодинамічних систем – це підхід з квантових позицій. Зазначимо, що статистика, неминуха під час дослідження систем з великим числом ступенів вільності (термодинамічних систем), тут накладається на статистику, яка притаманна об'єктам мікросвіту через специфічний, квантовий характер їх руху. Як відомо, у квантовій фізиці немає місця законам, які керують змінами індивідуального об'єкту з часом. Замість цього ми маємо закони, які керують змінами ймовірності з часом.

У зв'язку з цим цілком слушними, на наш погляд, є статистичні міркування І. Мороза [3]. Термодинамічна система розглядається ним як об'єкт, що через взаємодію з навколишнім середовищем у кожний момент часу має дискретний ряд випадкових значень внутрішньої енергії (або дискретний ряд енергетичних рівнів, на яких розподіляються молекули). Використовуючи відомий з теорії ймовірностей вираз середнього $\left(\bar{E} = \sum_i E_i \omega_i\right)$, автор визначає диференціал внутрішньої енергії системи:

$$dE = \sum_i \omega_i d\varepsilon_i + \sum_i \varepsilon_i d\omega_i, (4)$$

який можна розглядати як закон зміни її значень. Перший доданок характеризує зміну рівнів енергії системи без зміни кількості частинок на них, що відбувається при виконанні макроскопічної роботи. Саме в цьому, на думку І. Мороза, полягає статистичне трактування роботи як макроскопічного способу зміни внутрішньої енергії [3, с. 219].

Другий доданок у виразі (4) дає внесок у зміну енергії системи за рахунок зміни ймовірності заповнення її енергетичних рівнів, що відбувається внаслідок взаємодії частинок системи з частинками навколишнього середовища. Спосіб зміни внутрішньої енергії, який призводить до зміни ймовірності заповнення мікростанів системи, автор називає теплообміном, а кількість енергії, що надається їй при цьому – кількістю теплоти. Тоді вираз (4), як і в термодинаміці, запишеться у вигляді (1).

Перший закон термодинаміки становить спеціальну фізичну форму загального положення про незнищуваність та нестворюваність руху як форми існування матерії. Філософське трактування цього закону надзвичайно глибоке і має величезне

методологічне значення. Розвиток фізики і всього природознавства протягом двох останніх століть є блискучим доказом абсолютної справедливості цього фундаментального закону. Завдяки широкому спектру функцій у сучасній науці викладання першого закону термодинаміки з феноменологічної та статистичної точок зору в курсі теоретичної фізики має важливе професійно-педагогічне значення в підготовці майбутнього вчителя фізики. Безумовно, засвоєння теоретичних матеріалів буде найефективним тільки разом із розв'язанням відповідних задач навчального курсу.

Використана література:

1. Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики / А. И. Ансельм. – М. : Просвещение, 1973. – 423 с.
2. Булавін Л. А. Молекулярна фізика / Л. А. Булавін. – К. : Знання, 2006. – 567 с.
3. Мороз І. О. Методичне обґрунтування першого закону термодинаміки у курсі фізики ВНЗ / І. О. Мороз – Наукові записки. – Випуск 108. – Серія: педагогічні науки. – Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2012. – Ч. 2. – С. 215-219.
4. Сергієнко В. П. Теоретичні і методичні засади навчання загальної фізики в системі фахової підготовки вчителя : дис. ... доктора педагогічних наук : 13.00.02 / Сергієнко Володимир Петрович. – К., 2004. – 516 с.
5. Школа О. В. Основы термодинаміки і статистичної фізики : навч. посібник / Олександр Школа. – Донецьк : Юго-Восток, 2009. – 374 с.

Анотація

В статті проводиться короткий аналіз методики преподавания первого закона термодинамики в курсе теоретической физики, что имеет важное профессионально-педагогическое значение в подготовке будущего учителя физики.

Ключевые слова: *термодинамическая система, внутренняя энергия, энтропия.*

Annotation

The article contains a brief analysis of methods of teaching of the first law of thermodynamics in the course of theoretical physics, which has an important professional-pedagogical value in the preparation of the future teachers of physics.

Keywords: *thermodynamic system, internal energy, entropy.*

Шпильовий Ю. В.
Національний педагогічний університет
імені М. П. Драгоманова

ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ ПОБУДОВИ МЕТОДИЧНОЇ СИСТЕМИ НАВЧАННЯ ГРАФІЧНИХ ДИСЦИПЛІН ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ В РАМКАХ САМООСВІТИ

В даній статті досліджується використання сучасних комп'ютерних технологій і освітніх можливостей Інтернет при самостійній роботі студентів у процесі вивчення графічних дисциплін.

Ключові слова: *інформаційні технології, САПР, графічна підготовка, самостійна робота, Інтернет.*

Підготовка майбутніх вчителів технологій є новим напрямом вищої освіти. Вона повинна відрізнятися від підготовки, яка виконувалася для вчителів трудового навчання. Така підготовка повинна містити в собі елементи всіх сучасних наукових і технічних