

маршрутом: 1) *теоретики*: вибір теми (магнітне поле Землі, магнітна дія струму, дія магнітного поля на провідник зі струмом, електромагнітна індукція) → фізичний експеримент в середовищі «Відкрита фізика» → доведення гіпотези, отриманої в результаті експерименту → підготовка доповіді → публічний виступ; 2) робота в лабораторії → робота з інформацією → знайомство з приладами (постійні магніти, електромагніти, гучномовець, електродвигун тощо) → підготовка звіту → публічний виступ. Під час відбору інформації доводилося враховувати її основні джерела, а це переважно Інтернет. Результат пошуку був досить передбачуваним – отримана інформація не досить відрізнялася, бо використовувалися одні й ті ж джерела. Довелося розподілити інформацію за виглядом (текстова, графічна, інтерактивні моделі, відео, аудіо), застосувати правило: не повторювати посилання, які використали інші учасники. На першому етапі в локальній мережі був створений офісний документ у вигляді таблиці з темою і посиланнями, учасниками процесу. На другому етапі учні перейшли на використання сервісу Google docs.

В режимі узагальнення інформації учням доводилося переглядати всю набрану інформацію усіма учасниками веб-квесту. Щоб зацікавити учнів у таблиці була додана можливість оцінювання учнями один одного, а також доданий стовбець для коментарів. В процесі роботи над квестом учасники мали можливість консультиватися через інтернет один з одним та керівником. Результатом обговорення була інформація у вигляді доповіді, виступу або презентації. Захист був проведений у вигляді узагальнюючого уроку з теми, причому учні виявили бажання зберегти свої напрацювання та зробити їх доступними для всіх бажаючих у вигляді сайту. За результатами веб-квесту до існуючої таблиці доданий ще один стовбець з оцінкою вчителя та посиланням на розміщення проекту в мережі.

Таким чином, використовуючи веб-квест, учні вчать самостійно здобувати знання, працювати за алгоритмом; отримують навички, використовуючи різні види діяльності; в процесі поставлені в ситуацію вибору ролі, теми, ресурсів; вчать користуватися різними інформаційними джерелами. Пошук способів і розв'язків проблеми, раціонального варіанту, обґрунтування вибору розвивають критичне мислення, а також вміння порівнювати, аналізувати, узагальнювати, мислити абстрактно. В учнів підвищується мотивація, вони сприймають завдання як реальне і корисне. Розвиваються особисті якості учнів, такі як музичні, поетичні, художні здібності. Вміння працювати в команді є необхідними для виконання завдання. Учні працюють цілеспрямовано за маршрутом, головне не пошук інформації, а її використання.

Робота учнів у Веб-квест, вносить різноманіття у навчальний процес, робить його живим та цікавим. Учні отримують уявлення про глобальний інформаційний простір та його можливості, виконують завдання з фізики у новому форматі. На таких заняттях учні отримують чудову можливість поєднувати активний відпочинок з освоєнням комп'ютерних технологій, використовувати знання фізики в неформальній обстановці і в оточенні однолітків, вчать долати перешкоди, вирішувати задачі.

#### БІБЛІОГРАФІЯ

1. Забула Т.М. Проекти на уроках фізика+інформатика / Забула Т.М. // Фізика в школах України. – 2007. - № 5. – С. 7.
2. Цветкова М.С. Столетие проектного обучения / М.С. Цветкова // Информатика. Первое сентября. – 2002. – №20. – С. 1-2.

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

**Ментова Наталія Олександрівна** – кандидат педагогічних наук, вчитель математики Первомайської ЗОШ І-ІІІ ст. №4.

*Коло наукових інтересів:* проблеми викладання фізики.

## ТРЕТІЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМІКИ В КУРСІ ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ ПЕДАГОГІЧНИХ УНІВЕРСИТЕТІВ

**Іван МОРОЗ**

*Розглядається методика викладення теми «третій закон термодинаміки».  
Methodology of exposition of theme is examined the «third law of thermodynamics».*

**Постановка проблеми.** Термодинаміка як наука, що не використовує знання чи гіпотези про внутрішню будову речовин, базується на трьох законах (началах), які є узагальненням дослідних фактів про явища взаємного перетворення теплоти, роботи і внутрішньої енергії.

Перший закон термодинаміки описує кількісну сторону протікання термодинамічних процесів і забороняє протікання процесів, при яких порушується баланс енергії, тобто при яких енергія виникає або зникає без сліду.

Другий закон термодинаміки стверджує, що кожному стану макроскопічної системи відповідає адитивна функція стану, що характеризує близькість системи до рівноваги, її впорядкованість та є мірою знецінення енергії. Функція, що володіє цими властивостями, називається ентропією. Зміна ентропії вказує на можливий напрям протікання процесів:  $ds \geq \frac{dQ}{T}$ .

Згідно з цим законом, в ізольованій системі оборотні процеси йдуть без зміни ентропії, а необоротні – із зростанням ентропії. Ентропія визначається з точністю до довільної постійної, згідно із співвідношенням:  $S = \int \frac{d\theta}{T} + S_0$ , причому константу інтегрування, залишаючись у рамках першого і другого законів термодинаміки, визначити неможливо.

**Аналіз відомих досліджень і публікацій.** Ентропія, як функція стану, може залежати від зовнішніх параметрів та властивостей системи і температури. Якщо зовнішні параметри не змінюються і теплообміну з навколишнім середовищем немає, то всі рівноважні процеси йдуть без зміни ентропії [1-5].

Виникає питання, як поводитиметься ентропія, якщо зовнішні параметри не будуть змінюватись, але адіабатичність порушена і система, наприклад, охолоджується. На рис. 1 неперервними лініями показано схематичні криві зміни ентропії системи при різних початкових зовнішніх параметрах  $a_1$  і  $a_2$  при охолодженні<sup>1</sup> і штриховими та пунктирними – можливий хід цих же кривих в області дуже низьких температур. В області наднизьких температур можливі два результати: 1) криві йдуть по-різному, 2) криві зближуються і починаючи з деякої температури, не дивлячись на відмінність зовнішніх параметрів, зливаються.

У рамках першого і другого законів термодинаміки ці можливі результати не можна ні передбачити, ні пояснити. Відповідь міг дати лише експеримент. І на основі експериментальних досліджень у 1905 році німецький хімік Нернст сформулював, так звану, теплову теорему:

**Ентропія всякої рівноважної системи при зменшенні температури до абсолютного нуля прямує до деякої кінцевої границі, однакової для всіх систем.**

Враховуючи, що різниця ентропій системи при одній і тій же температурі, але при різних зовнішніх параметрах  $a_1$  і  $a_2$  зменшується, цю теорему можна записати аналітично:

$$\lim_{T \rightarrow 0} S(T) = \lim_{T \rightarrow 0} \left( \int_{T_1 a_1}^0 \frac{d\theta}{T} - \int_{T_1 a_2}^0 \frac{d\theta}{T} \right) = 0.$$

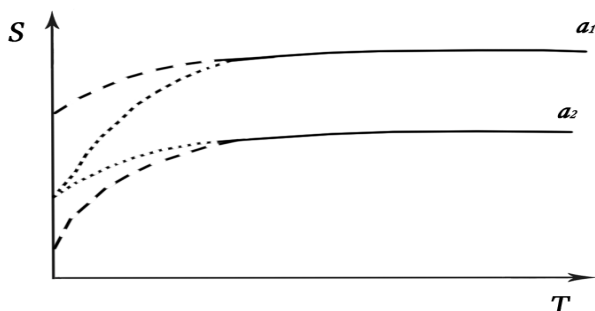


Рис. 1. Схематичка залежність ентропії від температури при різних зовнішніх параметрах  $a_1$  і  $a_2$

<sup>1</sup> Зменшення ентропії при охолодженні пояснюється зменшенням теплового руху молекул і відповідно – збільшенням впорядкованості.

У більшості випадків значення константи  $S_0$  не є суттєвим, оскільки в термодинамічних процесах має значення лише зміна ентропії. Але ентропія входить у комбінації з температурою у вигляді  $(TS)$  в означення вільної енергії  $(F = E - TS)$  та деякі інші важливі функції стану, через які можна визначати властивості системи. Тому, в зв'язку з цим, величина константи  $S_0$  набуває самостійного значення.

Оскільки постійна  $S_0$  однакова для всіх тіл, то, за пропозицією Планка (1910), зручно робити відлік ентропії від цього рівня, прийнявши його за нульовий, подібно тому, як потенціальну енергію тіла зручно відлічувати від рівня поверхні Землі. Тоді ентропія при будь-якій іншій температурі вже визначатиметься однозначно, якщо із досвіду відома температурна залежність теплоємності  $c=c(T)$ : 
$$S = \int_0^T \frac{d\theta}{T} = \int_0^T \frac{c(T)dT}{T},$$
 де інтегрування ведеться впродовж деякого рівноважного процесу. Так у термодинаміці розв'язується питання про визначення константи  $S_0$  у виразі для ентропії.

Із теплової теореми Нернста слідує два дуже важливі наслідки.

**Наслідок 1. Абсолютний нуль температур недосяжний.**

**Наслідок 2. Поблизу абсолютного нуля частинні похідні по температурі від ентропії та від усіх інших термодинамічних функцій (внутрішньої енергії, ентальпії, вільної енергії тощо, а також тиску й об'єму) при  $T \Rightarrow 0$  прямують до нуля.**

Теорема Нернста, із таким важливим для фізики наслідком – **абсолютний нуль температур недосяжний**, після довгих дискусій затвердилась у фізиці як третій закон (начало) термодинаміки. Він має менше значення, ніж перший і другий закони, але, тим не менш, є важливим – особливо при описанні систем із низькими температурами. Відомий фізик Левич В.Г., наприклад, вважав, що «...хоча третій закон термодинаміки є дуже важливим положенням, міра його важливості для науки навряд чи можна порівняти з мірою важливості другого закону. У цьому сенсі термін «третій закон» не є цілком вдалим» [4, с. 146].

Відносно третього закону термодинаміки Л. Ландау і Є. Лівшиц, які до речі не використовували цю назву закону, писали: «...при абсолютному нулі будь-яка частина тіла повинна знаходитися в одному визначеному квантовому стані. Іншими словами, статистичні ваги цих частин дорівнюють одиниці, а тому дорівнює одиниці і їх добуток, тобто статистична вага макроскопічного стану тіла в цілому. Отже, ентропія тіла, як логарифм його статистичної ваги, дорівнює нулю. Тому ми приходимо до наступного важливого висновку: ентропія всякого тіла перетворюється на нуль при абсолютному нулі температури (так звана теорема Нернста) [3 с. 88].

Зрозуміло, що таке пояснення для науковця є достатнім, але для студента воно потребує подальших пояснень. Тому **метою статті** є короткий аналіз методики викладання теплової теореми Нернста в курсі теоретичної фізики, що має важливе професійно-педагогічне значення в підготовці майбутнього вчителя фізики.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Після формулювання теореми Нернста та доведення її наслідків, потрібно зробити аналіз теореми з позиції статистичної фізики, який можна виконати, наприклад, наступним чином.

У результаті вивчення другого закону термодинаміки студенти знають, що ентропія – це адитивна функція стану, яка є мірою неврегульованості системи. Зрозуміло, що найбільш невпорядкованим є газоподібний стан речовини. Яку б речовину ми не взяли, газова фаза є найбільш високотемпературною і їй відповідає максимальне значення ентропії. Коли температура знижується, система, як правило, переходить спочатку в рідкий стан, потім – кристалізується, відповідно й ентропія зменшується. По мірі подальшого зниження температури коливання атомів (іонів) у вузлах кристалічної решітки поступово зменшуються. При певній температурі речовина може перейти в іншу кристалічну фазу, яка енергетично більш стійка, як наприклад, олово при 20°C переходить із білої модифікації в сіру – з іншим типом кристалічної решітки. Яскравим прикладом збільшення впорядкованості при зниженні температури є поведінка сплаву Cu-Ag. При високих температурах атоми Cu і Ag випадковим чином розподілені по вузлових точках кубічної решітки, але при низьких температурах спостерігається тенденція до переходу у впорядкований стан, у якому атоми Cu і Ag чергуються у вузлах решітки. При певній температурі

відбувається навіть фазовий перехід, в результаті якого збільшується впорядкованість фази, стабільної при нижчій температурі. Тенденція до впорядкованості пояснюється тим, що енергія впорядкованого кристала менше енергії більш безладної кристалічної структури. Іншим прикладом впорядкованості структури при зниженні температури є існування феромагнітного стану різних магнітних речовин. При охолодженні у точці Кюрі ці речовини переходять у більш впорядкований стан, в якому всі елементарні магнітики паралельні один одному. Як показують експериментальні дослідження, багато речовин, парамагнітних при високих температурах, виявляють цю тенденцію при зниженні температури.

Отже, у всіх цих прикладах ми бачимо однакову картину: чим нижча температура, тим сильніше виявляється тенденція до реалізації стану з можливо повнішою впорядкованістю і найнижчою енергією та ентропією.

Як відомо, термодинамічні системи по мірі зниження температури потрібно розглядати із квантових позицій і при достатньо низькій температурі відносна відстань між рівнями енергії системи зростає, залишаються збудженими лише рівні з малими квантовими числами. Тому при достатньо низькій температурі, при якій  $(kT < E_1 - E_0)$ , для основного рівня енергії системи  $(E_0)$  ймовірність заповнення цього рівня дорівнює [5]:

$$\omega_i(E_0) = \frac{e^{-\frac{E_0}{\theta}} g(E_0)}{e^{-\frac{E_0}{\theta}} g(E_0)} = 1,$$

а для всіх інших рівнів ймовірність дорівнює нулю. Причому для всієї системи не має різниці із яких частинок система складається: бозонів чи ферміонів. У першому випадку всі частинки переходять на нульовий рівень. В випадку фермі-частинок вони попарно займають всі свої найнижчі рівні, але для всієї системи значення енергії всіх її фермі-частинок – це нульовий рівень. Таким чином, перехід частинок на нульовий рівень при зниженні температури до абсолютного нуля, точніше – до температури, яка задовольняє умову:  $(kT < E_1 - E_0)$ , є віддзеркаленням типово квантових властивостей системи. Ентропія системи в статистичній фізиці вводиться за означенням виразом  $S = k \ln g$ . Тому для основного рівня з енергією  $E_0$  маємо:

$$S = \lim_{T \rightarrow 0} S(T) = k \lim_{T \rightarrow 0} \ln g_0.$$

У квантовій механіці доводиться, що основний рівень більшості систем є невиродженим, тобто  $g_0 = 1$ . Тоді при  $T \rightarrow 0$  ентропія прямує до нуля:  $(S \rightarrow 0)$ . Якщо ж основний рівень є виродженим навіть з величезною кратністю, рівною, наприклад, числу частинок:  $g_0 = N$ , то і в цьому випадку, враховуючи мале значення сталої Больцмана  $(k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{Дж}{К})$ , можна вважати, що  $S \rightarrow 0$  при  $T \rightarrow 0$ .

Таким чином, теорема Нернста є логічним наслідком загальних положень статистичної фізики квантових систем. Якби макроскопічні системи не володіли квантовими властивостями, то при будь-якій температурі їх енергія змінювалась неперервно. Тому, якою б низькою не була температура, енергія теплового збудження  $(kT)$  була б нескінченно великою у порівнянні з нескінченно малими рівнями, на які можна розділити енергетичні неперервні стани класичної системи. Тобто кінцевому інтервалу енергії  $(kT)$  відповідала б нескінченно велика термодинамічна ймовірність. Тому й ентропія при любій наднизькій температурі була б скінченною.

В природі існують тіла, які навіть при абсолютному нулю температури не переходять у рівноважний стан і їх ентропія не дорівнює нулю. Але це не є порушенням третього закону термодинаміки – просто до таких систем не можна застосовувати цей закон.

На останок зазначимо, що у наш час накопичилось достатньо багато навчально-методичної літератури зі статистичної фізики й термодинаміки. Причому термодинамічний і статистичний методи, як правило, розглядаються окремо. Це створює у студентів помилкове уявлення про існування двох, не пов'язаних між собою наук: термодинаміки й статистичної фізики. Цьому сприяють навчальні програми, назва навчальної дисципліни (термодинаміка й статистична

фізика) і навіть державні стандарти. Традиційний розрив цих двох методів у професійній підготовці не лише вчителів фізики, але й фізиків-дослідників, не ліквідується, навіть поглиблюється, незважаючи на те, що у науковій літературі термодинамічний і статистичний методи дослідження є двома взаємодоповнюючими методами єдиного розділу фізики - статистичної термодинаміки (а можливо й більш точною буде назва – статистична фізика). У найбільш відомому курсі з теоретичної фізики Л.Д. Ландау не існує навіть розділу «Термодинаміка».

**Висновки.** Розглядаючи будь-які макроскопічні системи з позицій статистичної фізики, можна одержати наслідки, які за не лише фізичним змістом, але й аналітично збігаються з основами термодинаміки – трьома її законами (початками) [5]. Тому, на наш погляд, назва розділу теоретичної фізики - «термодинаміка та статистична фізика» в педагогічних університетах не відповідає сучасному стану науки і при викладенні цього розділу потрібно уникати виокремлення питань, які традиційно відносяться до термодинамічного методу, а розглядати їх в контексті наслідків статистичного аналізу макроскопічних систем. Такий аналіз, як зазначалось, показує, що зниження ентропії до нуля при наближенні температури до абсолютного нуля – це типова поведінка квантових систем при низьких температурах і виправдати зведення часткового (навіть важливого) експериментального факту в ранг фундаментального закону природи можна лише прагненням віддати данину історії розвитку науки.

#### БІБЛІОГРАФІЯ

1. Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики. / Ансельм А.И. – М.: Наука, 1973. – 424с.
2. Киттель Ч. Статистическая термодинамика. / Киттель Ч. – М.: Наука, 1977. – 336с.
3. Ландау Л.Д. Статистическая физика. / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. – М.: Наука, 1964. – 568с.
4. Левич В.Г. Введение в статистическую физику. / Левич В.Г. – М.-Л.: ГИТТЛ, 1950. – 530с.
5. Мороз І.О. Теоретико-методичні засади вивчення термодинаміки і статистичної фізики в педагогічних університетах: монографія / І.О. Мороз; Міністерство освіти і науки України; Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова. – Суми: Видавничий дім «Папірус» 2013. - 380 с :

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

**Мороз Іван Олексійович** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри експериментальної та теоретичної фізики Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка.

*Коло наукових інтересів:* проблеми методики навчання термодинаміки.

## ФОРМУВАННЯ ПРЕДМЕТНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНЬОГО ВЧИТЕЛЯ ФІЗИКИ

**Олексій НІКОЛАЄВ**

*В статті досліджується технологія формування складових предметної компетентності, пропонується на підставі проведеного аналізу структура предметної компетентності майбутнього учителя фізики.*

*In the article the technology of components subject competence, it is proposed on the basis of the analysis structure of subject competence of future teachers of physics.*

Головна мета навчання фізики в середній школі полягає в розвитку особистості учнів засобами фізики як навчального предмета, зокрема завдяки формуванню в них предметної компетентності на основі фізичних знань, наукового світогляду й відповідного стилю мислення, розвитку експериментальних умінь і дослідницьких навичок, творчих здібностей і схильності до креативного мислення [5]. Актуальна сьогодні проблема формування компетентностей майбутніх фахівців розглядається у працях багатьох дослідників: О.І. Ляшенко, П.С. Атаманчук, В.Ф. Заболотний, Ю.А. Пасічник, В.Д. Шарко, Ю.М. Галатюк, С.А. Раков, А.М. Кух, О.П. Пінчук.

Метою нашої статті є здійснення аналізу технології формування складових предметної компетентності та на цій основі виділення структури предметної компетентності майбутнього учителя фізики.

Система компетентностей в сучасній освіті має ієрархічну структуру, рівні якої складають:

– ключові компетентності (міжпредметні та надпредметні компетентності) – відносяться до загального (метапредметного) змісту освіти;