

## ФУНДАМЕНТАЛІЗАЦІЯ НАВЧАЛЬНИХ КУРСІВ У ПЕДАГОГІЧНИХ УНІВЕРСИТЕТАХ

*Мороз І.О.,*

*кандидат пед. наук,*

*Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка*

Аналізуються навчальні дисципліни з теоретичної фізики в педагогічних університетах та пропонується авторська структура змістового компоненту вивчення термодинаміки й статистичної фізики при підготовці вчителя фізики.

Анализируются учебные дисциплины теоретической физики в педагогических университетах и предлагается авторская структура содержательного компонента изучения статистической термодинамики при подготовке учителя физики.

Educational disciplines of theoretical physics are analysed in pedagogical universities, and the authorial structure of rich in content component of study of statistical thermodynamics is offered at preparation of teacher of physics.

**Постановка проблеми.** Початок ХХІ століття сучасною світовою наукою розглядається як перехідний період від цивілізації індустріальної до цивілізації постіндустріальної. Тенденції, які все виразніше виявляються в останні десятиліття, показують, що головними рисами постіндустріального розвитку світової спільноти є: високий темп розвитку виробництва, виникнення абсолютно нових галузей техніки, насичення виробництва сучасними засобами вимірів, моделювання та автоматизації, які раніше застосовувалися виключно в спеціалізованих лабораторіях тощо. Все ширше до виробництва залучаються досягнення таких галузей знань як релятивістська фізика, квантова механіка, біологія, фізика лазерів, плазми та елементарних частинок тощо, тобто галузей науки, які раніше вважались дуже далекими від практики. Все це забезпечується результатами фундаментальних досліджень і фундаментальні теорії починають всебільше використовуватись для практичних цілей, трансформуючись у інженерні теорії.

Зазначене разом взяте диктує нові вимоги до системи освіти, у тому числі до посилення його фундаментальної компоненти, зростає необхідність інтеграції фундаментальних, гуманітарних та спеціальних знань, що забезпечує всебічне бачення майбутнім фахівцем своєї професійної діяльності в контексті прийдешніх технологічних і соціальних змін та формує сучасний науковий світогляд випускників ВНЗ.

У найбільшій мірі фундаменталізація освіти стосується педагогічних університетів, які здійснюють підготовку вчителів, оскільки засвоєні ними знання, наукові ідеї та концепції надалі будуть багато разів тиражуватися і, зрештою, у найближчій перспективі визначать світоглядний настрій у суспільстві. Тому важливим залишається подальше підвищення якості фундаментальної підготовки в предметних галузях, у теорії та методиці навчання, актуальною є подальша робота з вивчення інтелектуального освітнього середовища, яке дозволить забезпечити готовність учителя до професійної діяльності.

**Аналіз актуальних досліджень.** Концепція фундаментальної освіти вперше була сформульована ще Гумбольдтом на початку 19 століття і в ній говорилося, що предметом такої освіти мають бути ті фундаментальні знання, які саме сьогодні відкриває фундаментальна наука на своєму передньому краю. Проте з часом зростаючий обсяг знань призвів до необхідності їх адекватної структуризації і відображення у навчальних дисциплінах, що в результаті, перетворило фундаментальну освіту на самостійну і найважливішу область інтелектуальної діяльності людини.

Велику увагу фундаменталізації науки, а відповідно й відображення цього у навчальних дисциплінах, приділяв А. Ейнштейн: **«...высшим долгом физика является поиск тех общих элементарных законов, из которых путем чистой дедукции можно получить картину мира.»** [1, с. 40].

Пошук шляхів вдосконалення природничо-наукової освіти привів у кінці ХХ століття до появи концепції фундаментального навчального курсу, яка була сформульована і застосована до курсу фізики А.Д. Сухановим [2]. Але до теперішнього часу, незважаючи на те, що перехід до нової освітньої концепції, в основі якої лежить фундаменталізація освіти, визнається усіма цілком назрілим, структура та зміст навчальних дисциплін не відповідають сучасному стану природничих наук, зокрема, в підготовці вчителя фізики.

Дійсно, при підготовці педагогічних фахівців бакалаврського рівня викладання теоретичної фізики здійснюється згідно з державними стандартами, які по суті, задають викладачу програму дій, які він повинен виконувати, щоб не порушувати ці державні стандарти. Але діючі державні стандарти не є ідеальними. Зокрема, згідно з цими стандартами, у першому розділі теоретичної фізики «Класична механіка» змістовні модулі «Основні поняття і закони класичної механіки» та «Загальні теореми динаміки і закони збереження» й деякі інші дублюють відповідний курс загальної фізики і така традиційна методика дублювання існує уже багато десятиліть, незважаючи на те, що в теоретичній фізиці основним інструментом вивчення механічного руху є аналітична та релятивістська механіки.

Класична й релятивістська механіки в педагогічних університетах вивчаються в одному семестрі і багато питань (загальні теореми динаміки, закони збереження, зіткнення та розсіяння частинок і т. п), які в тій чи іншій мірі повторюються, виходячи з принципу фундаменталізації знань, слід розглядати із більш загальних - релятивістських позицій, як це зроблено авторами навчального посібника з СТВ [3].

Електродинаміка вивчається після класичної механіки й СТВ. Вона за своєю суттю є релятивістськи-коваріантною теорією, але її вивчення мало базується на принципах теорії відносності. Достатньо переглянути чинні робочі програми з фізики та державні стандарти, щоб упевнитись в тому, що при вивченні електродинаміки у вищих педагогічних навчальних закладах майже не передбачено використання результатів і методів спеціальної теорії відносності, незважаючи на те, що ці розділи фізики органічно пов'язані між собою. Такий же висновок можна зробити й при аналізі навчальних посібників з електродинаміки. Причому цей аналіз показує, що при розгляді стаціонарних зарядів усі автори у явному вигляді й справедливо приймають дослідний факт – закон Кулона як фундаментальний закон, із якого, разом з принципом суперпозиції, створюється теорія стаціонарного електричного поля. Основні властивості цього поля можна знайти зокрема в посібнику [4]. При вивченні

стаціонарних струмів теорія стаціонарного магнітного поля будується аналогічно електростатиці: формулюються закони Ампера та Біо-Савара-Лапласа, причому так, що у студентів та учнів вони помилково сприймаються, разом із законом Кулона, як фундаментальні закони природи. Зрозуміло, що така застаріла методики викладення магнітостатики пояснюється наочністю начебто очевидних емпіричних фактів та аналогією з побудовою електростатики, яка достатньо легко сприймається.

Значний крок вперед при викладенні магнітних явищ зробили відомі фізики О.Н. Матвеев, Е. Парселл, А.А. Пінський, Р. Фейнман та ін., які зробили спробу створити електродинаміку на основі принципу відносності, але в їх роботах розв'язується лише незначна частина питань дидактики електромагнетизму.

В останні два десятиріччя появилася серія статей О.А. Коновала, який, послідовно, на основі принципу відносності, розглянув багато явищ електромагнетизму, які входять до програм підготовки фахівців з фізики. Розроблені в цих роботах дидактичні та методичні засади вивчення електродинаміки докорінним чином змінюють існуючі методики і максимально наближують електродинаміку як навчальну дисципліну до сучасного рівня науки. Основні результати цих робіт відображені в монографії [5].

З таких же позицій, але на дещо відмінних моделях, нами [3; 6] також розглянуто метод побудови теорії стаціонарного магнітного поля, який не лише розвиває й підтверджує висновки О.А. Коновала, але й суттєво доповнює його роботи. Річ у тому, що аналіз вибраних нами моделей в математичному плані суттєво більш простий. Тому, як показав дослід викладання, легко сприймається студентами. У пропонованій нами методиці за математичними викладеннями ясно і достатньо легко, на наш погляд, видно фізичну суть.

**Мета статті** – аналіз сучасних методик навчання термодинаміки і формулювання нової концепції викладання термодинамічних питань на засадах статистичного аналізу макроскопічних систем.

**Виклад основного матеріалу.** У наш час накопичилось достатньо багато навчально-методичної літератури із статистичної фізики та 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), відповідна назва кафедр у деяких ВНЗ і навіть державні стандарти. Традиційний розрив цих двох методів у професійній підготовці не лише вчителів фізики, але й фізиків-дослідників, не ліквідується, 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 є назва – статистична фізика). У найбільш відомих курсах з теоретичної фізики Л.Д. Ландау [7] не існує навіть розділу «Термодинаміка». В професійному середовищі фізиків-теоретиків є очевидним, що постулати, за фізичним змістом аналогічні законам термодинаміки, являються наслідком статистичного аналізу макроскопічних систем.

Тому, керуючись ейнштейнівською концепцією фундаменталізації науки, і застосовуючи цю концепцію до навчальних дисциплін, нами виконаний теоретико-онтодидактичний та методичний аналіз навчально-методичної літератури з питань

термодинаміки й статистичної фізики, який показує необхідність перебудови структури змістового компоненту розділу «термодинаміка та статистична фізики» курсу теоретичної фізики для студентів вищих педагогічних навчальних закладів і запропоновано авторську структуру змістового компоненту методики навчання статистичної термодинаміки, основні питання якої схематично зображено на рис. 1. Зрозуміло, що в одній, обмеженій за об'ємом, статті неможливо детально розглянути всю структуру пропонованого змістового компоненту навчального курсу «Статистична термодинаміка» (статистична фізика – за Л.Д. Ландау), тому розглянемо лише її основи.

Відаючи дань історії розвитку статистичного методу, вважаємо доцільним спочатку (модуль1) розглянути прообраз статистичної фізики - розподіл молекул за швидкостями та статистичну теорію намагнічення парамагнетиків, або теорію поляризації полярних діелектриків, які були створені без використання методу Гіббса (але вони можуть бути отримані й як наслідок розподілу Гіббса) Максвеллом і відповідно Ланжевенном.

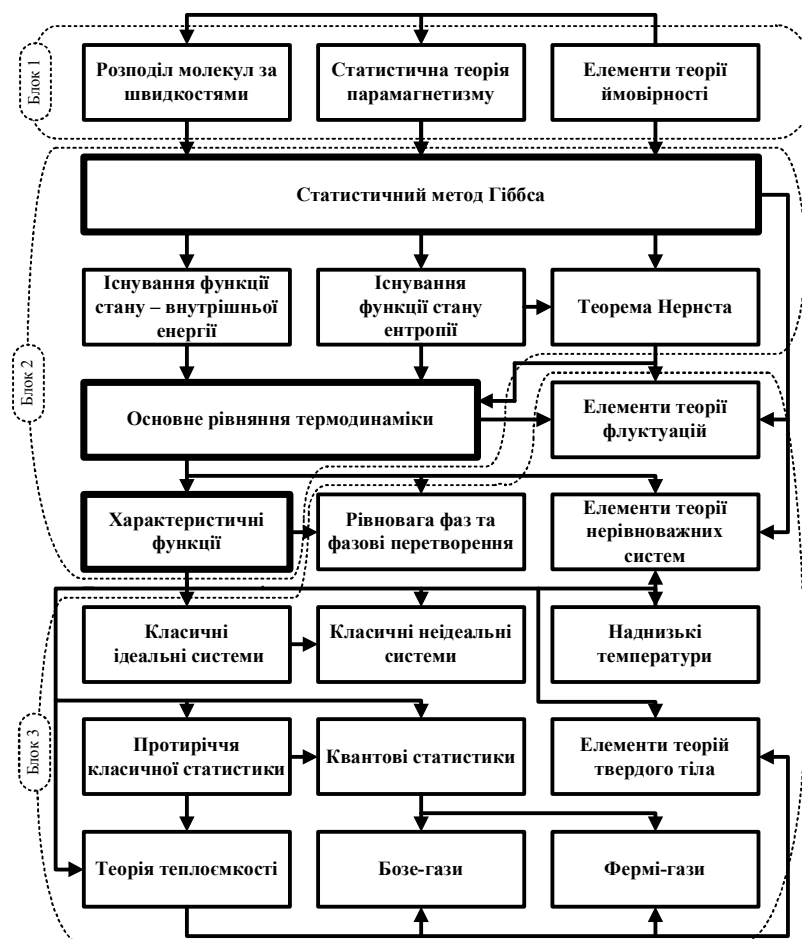


Рис.1. Структура курсу "Статистична термодинаміка"

Наступний змістовий модуль – це розгляд розподілів Гіббса, із яких власне і розвиваються два методи дослідження макроскопічних систем: статистичний та термодинамічний (метод характеристичних функцій). Тут, в силу історичних традицій, доводиться використовувати термодинамічну термінологію. Заключний – третій модуль

включає розгляд застосування законів статистичної термодинаміки для вивчення різноманітних макроскопічних систем.

Розглянемо тезисно один із можливих варіантів одержання статистичним методом постулатів, за фізичним змістом аналогічних законам термодинаміки, і тим самим покажемо, що виокремлення в державних стандартах, лекційних курсах та в навчальних посібниках з теоретичної фізики суто термодинамічних питань є дещо архаїчним і тому недоцільним.

Використовуючи властивості простору та часу, перш за все, приходимо до висновку [3; 8], що вся сукупність видів енергії, якою володіє ізольована нерухома макроскопічна система (внутрішня енергія) не змінюється з часом. В неізольованій системі, внаслідок взаємодії частинок системи з навколишнім середовищем, внутрішня енергія ( $E$ ) може змінюватись. Причому, оскільки вказана взаємодія є хаотичною, внутрішня енергія системи (у найбільш загальному вигляді – квантової системи) у кожний момент часу має випадкове значення. Тому внутрішню енергію можна записати наступним чином:  $E = \sum_i E_i \omega_i$ , де  $E_i$  – випадкове значення енергії,  $\omega_i$  – ймовірність цього випадкового значення. Таким чином, можна констатувати, що внутрішня енергія системи залежить як від стану системи, так і від зовнішніх параметрів, тобто як від рівнів енергії, так і від розподілу частинок за рівнями енергії і може змінюватись в результаті зовнішньої дії.

Нескінченно малу зміну внутрішньої енергії можна, очевидно, записати наступним чином:  $dE = \sum_i (dE_i)_{\omega_i} \omega_i + \sum_i E_i (d\omega_i)_{E_i}$ . Цей вираз дає можливість легко впевнитись [8; 9], що перший член правої частини останнього виразу це робота над системою ( $\delta A$ ), а другий доданок визначає зміну внутрішньої енергії системи за рахунок зміни ймовірності заповнення енергетичних рівнів системи. Це відбувається внаслідок взаємодії частинок системи з частинками навколишнього середовища. При цьому, якщо вони запозичують енергію, то переходять на вищі енергетичні рівні без зміни останніх, тобто стан з більшою енергією стає ймовірнішим, система нагрівається і навпаки.

Спосіб зміни внутрішньої енергії, який здійснюється взаємодією частинок системи з частинками навколишнього середовища, і призводить до зміни ймовірності заповнення мікростанів системи, традиційно називається теплообміном, а кількість енергії, що надається при цьому, як і в термодинаміці, назвемо кількістю теплоти. Тоді вираз для зміни внутрішньої енергії запишеться у вигляді:  $dE = \delta Q - \delta A$ , що за фізичним змістом і аналітично збігається з виразом для першого закону термодинаміки.

Будь-який процес в системі відбувається в результаті руху і взаємодії структурних елементів, які надалі будемо називати молекулами. Причому для простоти молекули будемо

розглядати як матеріальні точки, які не мають внутрішньої структури (це не звужує загальність подальших міркувань). Стан кожної такої структурної частинки системи визначається лише її положенням у системі і тим, як вона рухається, тобто – її координатами  $(x, y, z)$  та проекціями імпульсу  $(p_x, p_y, p_z)$ , або квантовими числами – у тому випадку, коли систему потрібно розглядати не з позицій класичної, а з позицій квантової фізики. Координати молекул та проекції імпульсу (квантові стани) окремих молекул з часом змінюються. Отже, даному макростану (як рівноважному, так і не рівноважному) відповідає велике число мікростанів. Причому ці мікростани не мають переваги один над одним, тобто вони настають з однаковою частотою. Таким чином, із найзагальніших положень статистичної фізики витікає постулат: **кожному стану системи відповідає функція стану – кількість мікростанів, яким реалізується даний макростан** (термодинамічна ймовірність  $W$  – для класичних систем, кратність виродження  $g$  – для квантових систем).

Оскільки ці величини є мультиплікативними, то зручніше вказаний постулат записати наступним чином:  $S_{cm} \sim \ln W$ ,  $S_{cm} \propto \ln g$ , де функцію  $S_{cm}$  назовемо статистичною ентропією. Коефіцієнт пропорційності, який потрібно записати, щоб останні вирази перетворились на рівності, повинен мати розмірність термодинамічної ентропії<sup>1</sup>. Це може бути теплоємність або постійна Больцмана. Можна переконатись [9], що в останніх виразах у якості коефіцієнта пропорційності між ентропією й термодинамічною ймовірністю потрібно вибрати постійну Больцмана. При цьому введена в статистичній фізиці ентропія буде збігатись з термодинамічною ентропією не лише за фізичним змістом, але й кількісно, а закон її зростання – з постулатами другого закону в термодинаміці. Тому відпадає необхідність використання уточнень: «статистична» чи «термодинамічна» в єдиному терміні – «ентропія». Отже, можемо записати одну з найважливіших формул статистичної фізики – формулу Больцмана:  $S = k \ln g$ ,  $S = k \ln W$ .

Якщо розглядати два можливі макростани системи, які можуть реалізовуватись різною кількістю мікростанів, то, враховуючи рівноправність останніх, можна стверджувати, що більшу частину часу система буде знаходитись у стані, якому відповідає більша кількість мікростанів. З погляду теорії ймовірності це означає, що такий стан системи є ймовірнішим. Якщо з цієї точки зору розглядати необоротні процеси, які проходять самі по собі в ізольованій системі і переводять систему із нерівноважного стану в більш рівноважний стан, то їх можна розглядати як перехід системи від менш ймовірного до більш ймовірного стану. Отже, найбільш ймовірний стан системи – це стан термодинамічної рівноваги, в якій необоротні процеси закінчуються і в ньому стають можливими лише оборотні процеси.

<sup>1</sup>Значимо також, що можна вводити й ентропію, яка не має розмірності [7].

Таким чином, постулат (що був раніше сформульований) про існування функції стану будь-якої макроскопічної системи – термодинамічної ймовірності (кратності виродження), логарифм яких – це ентропія, необхідно доповнити наступним твердженням: **у міру протікання самовільного процесу і наближення системи до рівноважного стану, функція стану - ентропія зростає, і в стані рівноваги ентропія приймає максимальне значення.**

Ці постулати можна розглядати як другий закон термодинаміки в статистичній інтерпретації. Оскільки при необоротних процесах відбувається перехід системи від станів з меншою до станів з більшою ентропією, то формула Больцмана визначає не лише ентропію в статистичному трактуванні, але – й закон її зростання в необоротних процесах:  $dS \geq 0$ .

Далі, використовуючи розподіл Гіббса, можна легко довести [9], що введена статистична ентропія збігається з ентропією, яку вводять в термодинаміці і записати основне рівняння:  $TdS \geq dE + \delta A$ , використовуючи яке можна створити метод характеристичних функцій, за допомогою якого аналізуються, наприклад, всі питання, що стосуються ідеальних та реальних класичних і квантових газів, рівноваги фаз та фазових перетворень, методів одержання наднизьких температур тощо.

Використовуючи статистичний метод легко пояснити й теорему Нернста, яка в термодинаміці розглядається як третій її закон (начало).

Таким чином, запропонована нами фундаменталізація навчальної дисципліни «термодинаміки та статистична фізика» це реалізація концепції Ейнштейна [1, с. 55]: **«Цель теоретической физики состоит в том, чтобы создать систему понятий, основанную на возможно меньшем числе логически независимых гипотез, которая позволила бы установить причинную взаимосвязь всего комплекса физических процессов».**

**Висновки.** 1. Незважаючи на ту роль, яку відіграла термодинаміка в розвитку науки, вона, як і інші феноменологічні науки, в процесі розвитку мікроструктурних наук, втрачає свої позиції. Виявляється, що її закони, які в межах феноменологічного розгляду представляються фундаментальними, у дійсності можуть бути одержані як наслідок статистичних законів. Тому вивчення законів термодинаміки, які є узагальненням експериментальних фактів, повинно знайти достатньо повне відображення в курсі загальної фізики, яка, власне, й розглядає експериментальні основи фізики. Вивчення термодинамічних питань в курсах теоретичної фізики у вищих навчальних закладах потрібно виконувати на засадах статистичної теорії і тому існуюча система підготовки фахівців з фізики потребує суттєвої корекції і створення відповідного науково-методичного обґрунтування нової концепції навчання цього розділу теоретичної фізики, яка б відповідала сучасному стану фізичної науки.

2. Фундаменталізація електродинаміки як навчальної дисципліни, яка виконана в роботах [3; 5; 6], та запропонована нами концепція вивчення курсу «термодинаміка та статистична фізики», інших курсів теоретичної фізики повинна знайти своє відображення у відповідних навчальних курсах та посібниках, виданих масовим тиражем, щоб студенти всіх ВНЗ мали можливість вивчати теоретичну фізику відповідно до рівня сучасної науки.

3. Фундаменталізація навчальних дисциплін є актуальною не лише для підготовки вчителів фізики. Від якості професійної підготовки учителів усіх предметів багато в чому залежить якість підготовки підростаючого покоління, майбутніх фахівців у будь-якій галузі. Тому фундаменталізація навчальних дисциплін в підготовці вчителя зараз – це технічний та соціальний прогрес нації в майбутньому.

### Список використаної літератури

1. Эйнштейн А. Собрание научных трудов : в т.4. / Альберт Эйнштейн. – Т. IV. – М.: Наука, 1967. – 600 с.
2. Суханов А.Д. Концепции современного естествознания. / А.Д. Суханов, О.Н. Голубева. – М.: Издательство «Агар», 2000. – 325 с.
3. Мороз І.О. Спеціальна теорія відносності. Навчальний посібник / І.О. Мороз, В.С. Іваній, Р.І. Холодов. – Суми: Видавництво «МакДен», 2011. – 336 .
4. Мороз І.О. Основи електродинаміки. Електростатика. Навчальний посібник / І.О. Мороз. – Суми: Видавництво «МакДен», 2011. – 162 с.
5. Коновал О.А. Теоретичні та методичні основи вивчення електродинаміки на засадах теорії відносності. Монографія / О.А. Коновал. – Кривий Ріг: «Видавничий дім», 2009. – 345 с.
6. Мороз І.О. Основи електродинаміки. Магнітостатика. Навчальний посібник / І.О. Мороз. – Суми: Видавництво «МакДен», 2011. – 162 с.
7. Ландау Л.Д. Теоретическая физика. Т.V. Статистическая физика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц. – М.: Наука, 1964. – 567 с.
8. Мороз І.О. Методичне обґрунтування першого закону термодинаміки у курсі фізики ВНЗ / І.О. Мороз // Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: РВВ КДПУ імені Володимира Винниченка, 2012. – Вип. 108. – Част. 2. – С. 215-219.
9. Мороз І.О. Особливості викладання теми «другий закон термодинаміки / І.О. Мороз // Науковий часопис НПУ імені М.П.Драгоманова. Серія 5, педагогічні науки: реалії та перспективи. – К, 2012. – Випуск 32. – С. 147-154.