

УДК 378.14.015.62

DOI 10.31494/2412-9208-2023-1-3-567-576

METHODOLOGICAL FEATURES OF TEACHING THE FUNDAMENTALS OF CLASSICAL STATISTICS IN THE COURSE OF THEORETICAL PHYSICS

МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИВЧЕННЯ ОСНОВ КЛАСИЧНОЇ СТАТИСТИКИ КУРСУ ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ

Oleksandr SHKOLA,

Doctor of Pedagogy, Associate
Professor

aleksandrshkola99@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9946-446X>

*Berdyansk State Pedagogical
University,
✉ 4, Schmidta st., Berdiansk,
Zaporizhzhia oblast, 71100, Ukraine
(temporarily relocated to:
66, Zhukovsky st., Zaporizhzhia,
69000, Ukraine)*

Олександр ШКОЛА,

доктор педагогічних наук, доцент

*Бердянський державний
педагогічний університет,
✉ вул. Шмідта, 4, м. Бердянськ,
Запорізька обл., 71100, Україна
(тимчасово переміщений за
адресою: вул. Жуковського, 66,
м. Запоріжжя, 69000, Україна)*

Original manuscript received: November 06, 2023

Revised manuscript accepted: November 19, 2023

ABSTRACT

The article highlights the methodological features of teaching the basics of classical statistics as one of the key issues of the theoretical physics course at a pedagogical university, which is of great importance in the fundamental professional training of pre-service physics teachers. It is noted that despite the sufficient number of available educational and methodical sources and the originality of the author's approaches in covering the main issues of the course, the need to improve the methodology of its teaching under modern educational conditions is urgent. According to the pedagogical experience of the author, the effective assimilation of the fundamentals of classical statistics in the course of theoretical physics by students will be facilitated by the content compactness, mathematical conciseness and logical sequence of the presentation of the educational material; ensuring systematic active cognitive work with a holistic educational and methodological complex of the discipline, oriented to the formation of a scientific worldview and thinking style as the basis of professional competence, and continuous monitoring of the results of their educational achievements. In a condensed version, the physical content of the theorem on the equal distribution of energy by molecular and viral degrees of freedom is proved. The physical essence of classical theories of heat capacity of gases, solids, equilibrium electromagnetic radiation of an absolutely black body using the theorem on equal distribution of energy is highlighted. Attention is focused on the importance of students' awareness of the difficulties of reconciling these theories with experiment and the need for further scientific research in solving the outlined questions as a turning point in the development of physical science at the beginning of the 20th century, which led to the birth of quantum theory and the formation of a new physical picture of the world. It is noted that the effectiveness of the methodical approach proposed by the author in teaching the specified questions of the course of

567

ICV 2022: 80.27

DOI 10.31494/2412-9208-2023-1-3

theoretical physics is confirmed by the level of cognitive activity and the results of the final module control of students in recent years.

Keywords: *theoretical physics, thermodynamics and statistical physics, classical statistics, future physics teacher.*

Вступ. Курс теоретичної фізики традиційно важко засвоюється студентами педагогічного університету не тільки через високий рівень математичного апарату і формалізації понять, але й ряд інших обставин, що набувають останнім часом все більшої гостроти: а) зниження пізнавального інтересу і рівня базової фізико-математичної підготовки абітурієнтів за підсумками ЗНО/НМТ; б) зменшення нормативного обсягу аудиторних годин і зміщення акцентів навчального навантаження студентів у бік самостійної роботи; в) порушення зворотного зв'язку, системності, а відповідно й якості, освітнього процесу в умовах військового стану в державі та дистанційного формату навчання; г) послаблення зв'язку навчально-виховного процесу з науково-дослідною роботою студентів. Очевидно, що все це негативно позначається не тільки на рівні фундаментальної, але й методологічної і світоглядної підготовки майбутніх учителів фізики, що має вкрай небезпечні наслідки і потребує негайного виправлення. Засвоєні ними наукові положення, стиль мислення і способи дій, як відомо, надалі будуть багато разів тиражуватися та визначатимуть інтелектуальний рівень випускників шкіл, а отже й світоглядний настрій у суспільстві.

За цих обставин першочергове значення у навчанні теоретичної фізики має передусім забезпечення належної організації системної пізнавальної роботи студентів з цілісним навчально-методичним комплексом дисципліни, зорієтованим на формування наукового світогляду і стилю мислення як провідної якості особистості, основи фахової компетентності, та обов'язкового неперервного контролю результатів їх навчальних досягнень. Незважаючи на наявність різноманітних навчально-методичних джерел та оригінальність авторських підходів у висвітленні основних питань курсу теоретичної фізики, необхідність удосконалення методики його викладання за сучасних освітніх умов є очевидною. Актуальним є запровадження таких методичних підходів, які б дозволяли відповідно принципам фундаментальності та професійної спрямованості, логічної послідовності, змістовної компактності і математичної лаконічності забезпечувати свідому й системну активну пізнавальну роботу студентів з опанування основних положень фундаментальних теорій сучасної фізики. У зв'язку з цим *метою статті* є висвітлення методичних особливостей викладання основ класичної статистики як одного з ключових питань курсу теоретичної фізики педагогічного університету, що має важливе значення у фундаментальній професійній підготовці майбутніх учителів фізики.

Методи та методики дослідження: *аналіз наукових і навчально-методичних праць з курсу теоретичної фізики; спостереження і бесіди зі студентами та викладачами* – з метою з'ясування проблемних питань дослідження та шляхів їх ефективного розв'язання; *порівняння, синтез та узагальнення* – для систематизації результатів дослідження,

формулювання висновків і визначення напрямів подальших наукових розвідок.

Результати та дискусії. Традиційно навчальна тема «Класична статистика ідеального газу» курсу теоретичної фізики включає такі питання: статистичний інтеграл ідеального газу, розподіл Максвелла-Больцмана, теореми про рівнорозподіл енергії за ступенями вільності молекули та віріал, класичні теорії теплоємності газів, твердих тіл та рівноважного електромагнітного випромінювання (Шут, Школа, 2014:45). Аналіз навчально-методичних джерел свідчить, що їх автори використовують різні методичні підходи у розкритті основних питань навчальної теми. Так, зокрема у (Казанський, Хардіков, 2013:89-93) аналіз питання про теплоємність двоатомних газів проводять на основі застосування розподілу Гіббса у визначенні середнього значення енергії молекули для кожного ступеня вільності. У навчальних посібниках (Венгер, Грибань, Мельничук, 2004) та (Королюк, Мельничук, Валь, 2004) основну увагу звернено детальним математичним викладкам основних питань теми. У праці (Дудик, 2015:57) загальний вигляд спектральної густини випромінювання чорного тіла проведено з використанням методу розмірностей величин, які до неї очевидно мають входити. Слід зазначити, що успішне засвоєння здобувачами відповідного навчального матеріалу курсу теоретичної фізики на основі зазначених вище джерел передбачає достатньо високий рівень їх базової математичної підготовки, що є очевидним і цілком зрозумілим. Однак, на наш погляд, за сучасних освітніх умов ефективному засвоєнню студентами навчального матеріалу сприятиме передусім його логічна послідовність, змістовна компактність і математична лаконічність. З урахуванням того, що питання про статистичний інтеграл ідеального газу детально висвітлено у більшості підручників зі статистичної фізики, а методику викладання розподілу Максвелла-Больцмана в контексті нашого підходу висвітлено у праці (Школа, 2013), розглянемо коротко методичні особливості викладання наступних питань теми.

1. Теореми про рівнорозподіл енергії за ступенями вільності молекули та віріал. Фізичний зміст першої з них полягає у тому, що середня кінетична енергія частинки, що припадає на одну ступінь вільності, однакова для всіх ступенів вільності і визначається тільки температурою згідно рівняння: $\overline{E}_i = p_i^2 / 2m = \theta / 2$. Оскільки функція Гамільтона макросистеми виступає фактично її механічною енергією $[H = E(p) + U(q)]$, варто довести більш загальне положення: $\overline{p_i(\partial H / \partial p_i)} = p_i^2 / m = 2\overline{E}_i = \theta$. За канонічним розподілом Гіббса маємо:

$$p_i \frac{\partial H}{\partial p_i} = \int p_i \frac{\partial H}{\partial p_i} e^{-\frac{\Psi-H}{\theta}} dq_1 \dots dp_{3N} = \int \dots \int \frac{dq dp}{dp_i} \int p_i \frac{\partial H}{\partial p_i} e^{-\frac{\Psi-H}{\theta}} dp_i =$$

$$\begin{aligned}
 &= -\theta \int \dots \int \frac{dqdp}{dp_i} \int p_i \frac{\partial}{\partial p_i} \left(e^{\frac{\Psi-H}{\theta}} \right) dp_i = \text{||інтегруємо за частинами||} = \\
 &= -\theta \int \dots \int \frac{dqdp}{dp_i} \left[p_i e^{\frac{\Psi-H}{\theta}} \Big|_{-\infty}^{\infty} - \int e^{\frac{\Psi-H}{\theta}} dp_i \right] = \text{||для першого доданку,} \\
 &\text{якщо } p_i \rightarrow \pm\infty, \text{ маємо: } \infty \cdot e^{-\infty^2}, \text{ тобто } \left(\infty / e^{\infty^2} \right) \rightarrow 0 \text{ ||} = \\
 &\theta \int e^{(\Psi-H)/\theta} d\Gamma = \theta. \text{ Отже, } \overline{p_i \left(\frac{\partial H}{\partial p_i} \right)} = \theta, \text{ звідки:} \\
 &\quad \quad \quad \overline{E_i} = \theta / 2 = kT / 2. \tag{1}
 \end{aligned}$$

Теорема про рівнорозподіл енергії за ступенями вільності, таким чином, справедлива для будь-яких систем, які описують класичною статистикою. У загальному випадку для систем з f ступенями вільності повна кінетична енергія буде такою: $\overline{E_f} = (f/2)kT$. Аналогічно можна розписати:

$$\overline{q_i \left(\frac{\partial H}{\partial q_i} \right)} = \theta. \tag{2}$$

Оскільки величина $\frac{1}{2} \sum_i q_i \frac{\partial H}{\partial q_i} = W_i$ є віріалом, що припадає на i -ту ступінь вільності частинки, згідно (2) середній віріал на одну ступінь вільності дорівнює: $\overline{W_i} = \theta / 2$. З урахуванням виразу (1), маємо: $\overline{E_i} = \overline{W_i} = \theta / 2$.

У ході аналізу отриманих результатів звертаємо увагу студентів на важливий висновок з теореми про рівнорозподіл, необхідний для вивчення наступних питань теми, а саме: середнє значення енергії $\overline{\varepsilon}$ однієї молекули (за даної T) буде тим більшим, чим складнішою є молекула, тобто чим більше вона має ступенів вільності. З урахуванням більшої енергетичної ємності коливального ступеня вільності молекули порівняно з поступальним та обертальним її середня енергія дорівнюватиме: $\overline{\varepsilon} = (i/2)kT$, де i – сума числа поступальних, обертальних і подвоєного числа коливальних ступенів вільності молекули ($i = i_{\text{пост}} + i_{\text{оберт}} + 2i_{\text{кол}}$).

2. Класична теорія теплоємності ідеального газу. Внутрішню енергію одного моля ідеального газу можна знайти помножив число Авогадро на середню енергію однієї молекули: $U_m = N_A \bar{\varepsilon} = (i/2)N_A kT = (i/2)RT$, звідки для молярної теплоємності отримаємо вираз: $C_V = dU_m / dT = (i/2)R$. Згідно рівняння Майєра:

$$C_p = C_V + R = \frac{i+2}{2}R, \text{ звідки показник адіабати газу } \gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i},$$

тобто визначається числом і характером ступенів вільності молекули. Отже, згідно теорії маємо: для одноатомних газів $\gamma = 5/3 = 1,67$; для двохатомних (з жорстким зв'язком між молекулами) $\gamma = 7/5 = 1,4$; для двохатомних (з пружним зв'язком між молекулами) $\gamma = 9/7 = 1,29$; для молекул з трьох і більше атомів $\gamma = 8/6 = 1,33$.

Для одноатомних інертних газів (гелій, неон, аргон, криптон, ксенон), експериментальні значення γ (а отже й значення теплоємності C_V) добре узгоджуються з теоретичними і не залежать від температури. Однак для двохатомних газів (водень, азот, кисень) значення теплоємності $C_V = 5R/2$ справедливе тільки для певного інтервалу температур (рис. 1). Отже, у поясненні експериментальних даних класична теорія зіштовхується з певними труднощами.

Звертаємо увагу студентів на те, що, по-перше, згідно теорії теплоємність газів повинна бути цілою кратною величині $R/2$, оскільки число ступенів вільності може бути тільки цілим. Тому навіть малі експериментальні відхилення C_V і C_p від значень, кратних $R/2$, відіграють принципову роль. По-друге, згідно теорії теплоємність газу не повинна залежати від температури. З рисунку ж видно, що це справедливо тільки в межах окремих температурних інтервалів, причому на різних ділянках остання має значення, що відповідають різному числу ступенів вільності молекули, зокрема: на ділянці (1–2) молекула поводить себе як об'єкт з трьома поступальними ступенями вільності; на

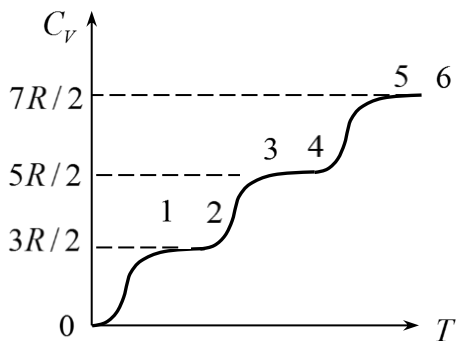


Рис. 1. Графік залежності $C_V(T)$ для двохатомного газу

(3–4) – додатково «отримує» ще дві обертальні ступені; на (5–6) – до них додається ще й коливальний рух молекули. У проміжках між вказаними інтервалами теплоємність двоатомного газу повільно зростає з температурою, що відповідає нібито нецілому, змінному числу ступенів вільності. При цьому повільний хід кривої $C_V(T)$ свідчить про те, що в обертальний, а потім у коливальний рухи залучаються не всі молекули разом: відносна частка таких молекул зростає поступово. Класична теорія теплоємності газів має й інші недоліки: наприклад, не враховуються ступені вільності електронів, оскільки атоми вважають матеріальними точками, рухом електронів в атомах нехтують та ін. Пошуки шляхів розв'язання окресленої проблеми поряд з іншими (ультрафіолетова катастрофа, пояснення законів фотоефекту, гіпотеза ефіру, відсутність впливу електронного газу металу на його теплоємність та ін.) привели до глибокої кризи у фізиці на межі XIX – XX століть та створенні згодом квантової механіки і теорії відносності.

3. Класична теорія теплоємності твердих тіл. У якості моделі твердого тіла розглядають ідеальну кристалічну ґратку, у вузлах якої частинки (матеріальні точки) коливаються біля своїх положень рівноваги вздовж трьох взаємно перпендикулярних напрямів. Якщо амплітуда їх коливань значно менша постійної ґратки (що має місце, коли температура кристала набагато менша температури плавлення), такі коливання можна вважати гармонічними. Частинці відповідно приписують три коливальні ступені вільності, кожна з яких згідно закону про рівнорозподіл має енергією kT . Таким чином, для внутрішньої енергії моля речовини маємо: $U_m = N_A \cdot 3kT = 3RT$, звідки молярна теплоємність твердого тіла:

$$C_V = \frac{dU_m}{dT} = 3R \approx 25 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \right). \quad (3)$$

Оскільки об'єм твердих тіл під час нагрівання змінюється мало, можна покласти $C_p \approx C_V$ і говорити просто про теплоємність твердого

тіла. Формула (3) є *класичним законом Дюлонга-Пті*: молярна теплоємність всіх хімічно простих тіл у кристалічному стані однакова, дорівнює $3R$ і не залежить від температури. Для більшості твердих тіл цей результат добре підтверджується експериментом, однак для деяких елементів (берилій, бор, алмаз та ін.) маємо суттєві відмінності: їх теплоємність виявляється функцією температури (рис. 2).

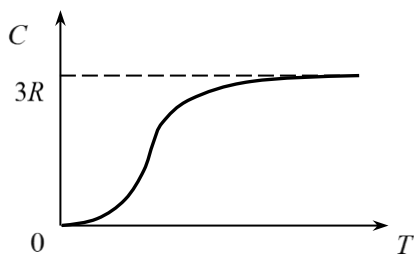


Рис. 2. Графік залежності $C_V(T)$ твердого тіла

Неспроможність пояснення класичною теорією реальної залежності $C_v(T)$ для твердих тіл обумовлена певними обставинами. Звертаємо увагу студентів на те, що, по-перше, використовується не зовсім обґрунтоване припущення про рівномірний розподіл енергії за ступенями вільності коливального руху молекул незалежно від їх природи, зв'язків із «сусідами», частоти коливань. По-друге, під час доведення закону Дюлонга-Пті коливання частинок розглядаються як незалежні, тобто класичний підхід не враховує будову твердого тіла, і коли говорять про вузли ґраток як центри коливань, то все ж не надають жодного значення впорядкованості у розміщенні цих центрів. Тому ця теорія однаковою мірою придатна як для кристалів з чіткою впорядкованістю розміщення частинок з майже нерухожими центрами коливань, так і для рідин, центри коливань яких час від часу зміщуються. Таким чином, основна хиба класичної теорії теплоємності полягає в тому, що в ній проводиться підрахунок тільки загального числа ступенів вільності молекул без їх оцінки; на кожний ступінь вільності їх коливального руху незалежно від частоти коливань відводять однакову енергію. Розходження експериментального і теоретичного значень теплоємності твердих тіл пояснили на початку ХХ ст. А. Ейнштейн і П. Дебай, виходячи з квантових уявлень. Перший враховував квантування енергії коливального руху частинок у вузлах кристалічної ґратки, інший брав до уваги, що їх коливання є взаємозалежними. Квантові теорії теплоємностей Ейнштейна і Дебая добре узгоджуються з експериментальними даними, а за високих температур приводять до класичного закону.

4. Класична теорія рівноважного електромагнітного випромінювання. Вивчення основних питань теми розпочинають з усвідомлення студентами моделі абсолютно чорного тіла, введення понять спектральної густини енергетичної світності $r_{\nu,T}$ та поглинальної здатності $A_{\nu,T}$ тіла, а також послідовного з'ясування фізичної сутності законів Кірхгофа, Стефана-Больцмана і зміщення Віна. Студенти мають з'ясувати, що термодинамічний підхід у вирішенні завдання про знаходження універсальної функції Кірхгофа $r_{\nu,T}$ чорного тіла не дав бажаних результатів. У зв'язку з чим наступним кроком стала спроба її теоретичного виведення Д. Рэлеєм і Д. Джинсом, які застосували до теплового випромінювання методи статистичної фізики, зокрема класичний закон рівнорозподілу енергії за ступенями вільності. Пропускаючи математичні викладки, які досить детально представлені майже у всіх навчально-методичних джерелах курсу, звертаємо увагу студентів на загальну логіку наукового пошуку: на першому етапі визначаємо розподіл числа стоячих електромагнітних хвиль всередині порожнини за частотою, на другому – розподіл енергії за частотами у спектрі абсолютно чорного тіла. Кожну стоячу електромагнітну хвилю англійські вчені розглядали як одну коливальну ступінь вільності, на яку за

теоремою про рівнорозподіл припадає енергія kT , тобто хвилі різних частот мають однакову енергію. Помножив число хвиль $dn(\nu)$ на середню енергію окремої хвилі, отримуємо енергію випромінювання в інтервалі частот $d\nu$, тобто: $dE(\nu) = (8\pi kT / c^3) \nu^2 d\nu$. Звідси знаходимо вираз для спектральної густини енергії рівноважного випромінювання чорного тіла:

$$\varepsilon(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT, \quad (4)$$

який називають *класичною формулою Релея-Джинса*. Знаходження повної енергії випромінювання потребує інтегрування $\varepsilon(\nu)$ за всіма частотами, тобто:

$$E = \int_0^{\infty} \varepsilon(\nu, T) d\nu = \frac{8\pi kT}{c^3} \int_0^{\infty} \nu^2 d\nu \rightarrow \infty.$$

Як бачимо, інтеграл розходиться і повна енергія випромінювання тіла стає нескінченною, чого звичайно не може бути. Порівняння отриманого виразу (4) з експериментом свідчить, що він не зовсім вірний: найбільше узгодження виходить тільки в області довгих хвиль, для коротких – маємо значне розходження (рис. 3). Цей парадокс в історії фізики отримав назву «*ультрафіолетової катастрофи*», оскільки знайдена формула потребує скупчення всієї енергії спектру в ультрафіолетовій області. Отже, класична теорія не змогла пояснити закони рівноважного теплового випромінювання. Рішення цього завдання вперше було отримано М. Планком у 1900 р. тільки за допомогою квантових уявлень. Сутність останніх та шляхи вирішення окреслених вище проблемних питань класичної фізики кінця XIX століття студенти вивчатимуть вже далі у рамках теми «*Основи квантової статистики*» курсу теоретичної фізики.

Висновки. У статті висвітлено методичні особливості викладання основ класичної статистики курсу теоретичної фізики педагогічного університету, що має важливе значення у фундаментальній професійній підготовці майбутніх учителів фізики. Очевидно, що якість освітніх результатів здобувачів визначатиметься не тільки ретельним опрацюванням теоретичних матеріалів, але й розв'язанням відповідних задач навчальної теми, реалізацією методів і прийомів, що

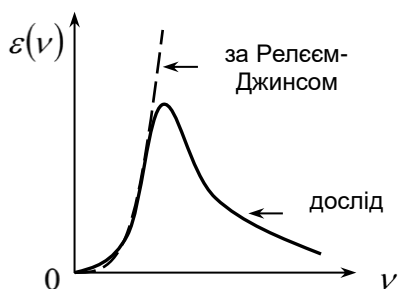


Рис. 3. Ультрафіолетова катастрофа

стимулюватимуть їх системну активну пізнавальну діяльність. Ефективність пропонуваного автором методичного підходу у викладанні зазначених питань курсу теоретичної фізики підтверджується результатами підсумкового модульного контролю здобувачів протягом останніх років.

Література

1. Венгер Є. Ф., Грибань В. М., Мельничук О. В. Основи статистичної фізики і термодинаміки. Київ : Вища школа, 2004. 255 с.
2. Дудик М. В. Термодинаміка і статистична фізика : навч. посібник для студ. вищих навч. закладів фіз.-мат. спеціальностей. Умань : ПП «Жовтий», 2015. 132 с.
3. Казанський В. Б., Хардіков В. В. Статистична фізика та термодинаміка : навч. посібник. Харків : ХНУ ім. В.Н.Каразіна, 2013. 292 с.
4. Короліук С. Л., Мельничук С. В., Валь О. Д. Основи статистичної фізики та термодинаміки. Чернівці : Книги XXI, 2004. 347 с.
5. Школа О. В. Методичні підходи до вивчення розподілу Максвелла-Больцмана в курсі теоретичної фізики. *Вісник ЧНПУ ім. Т.Шевченка. Серія: Педагогічні науки*. Чернівці : ЧНПУ імені Т. Шевченка, 2013. Вип. 109. С.294–298.
6. Школа О. В. Навчальна програма узагальнення знань студентів з теоретичної фізики : навчальний посібник. Вінниця : ПП «ТД Едельвейс і К», 2022. 94 с.
7. Школа О. В. Теоретико-методичні засади навчання теоретичної фізики майбутніх учителів фізики : монографія. Бердянськ : Видавець О.Ткачук, 2015. 381 с.

References

1. Venher, Ye. F., Hryban, V. M., Melnychuk, O. V. (2004). *Osnovy statystychnoi fizyky i termodynamiky* [Fundamentals of statistical physics and thermodynamics]. Kyiv : Vyscha shkola. [in Ukrainian].
2. Dudyk, M. V. (2015). *Termodynamika i statystychna fizyka: navch. posibnyk dlia stud. vyshchyykh navch. zakladiv fiz.-mat. spetsialnostei* [Thermodynamics and statistical physics: teaching. study guide higher education institutions of physics and mathematics specialties]. Uman : PP «Zhovtyi». [in Ukrainian].
3. Kazanskyi, V. B., Khardikov, V. V. (2013). *Statystychna fizyka ta termodynamika : navch. posibnyk* [Statistical physics and thermodynamics: teaching. manual]. Kharkiv : KhNU im. V.N.Karazina. [in Ukrainian].
4. Koroliuk, S. L., Melnychuk, S. V., Val, O. D. (2004). *Osnovy statystychnoi fizyky ta termodynamiky* [Fundamentals of statistical physics and thermodynamics]. Chernivtsi : Knyhy XXI. [in Ukrainian].
5. Shkola, O. V. (2013). *Metodychni pidkhody do vyvchennia rozpodilu Maksvela-Boltsmana v kursy teoretychnoi fizyky* [Methodical approaches to the study of the Maxwell-Boltzmann distribution in the course of theoretical physics]. Visnyk ChNPU im. T. Shevchenka. Seriya: Pedagogichni nauky – Bulletin of the ChNPU named after T. Shevchenko. Series: Pedagogical sciences. Chernihiv : ChNPU imeni T. Shevchenka, Vyp. 109, 294–298. [in Ukrainian].
6. Shkola, O. V. (2022). *Navchalna prohrama uzahalnennia znan studentiv z teoretychnoi fizyky: navchalnyi posibnyk* [Curriculum for the generalization of students' knowledge in theoretical physics: teaching. manual]. Vinnytsia : PP «TD Edelweis i K». [in Ukrainian].
7. Shkola, O. V. (2015). *Teoretyko-metodychni zasady navchannia teoretychnoi fizyky maibutnix uchyteliv fizyky: monohrafiia* [Theoretical and methodological principles of teaching theoretical physics of future physics teachers: monograph]. Berdiansk : Vydavets O. Tkachuk. [in Ukrainian].

АНОТАЦІЯ

У статті висвітлено методичні особливості викладання основ класичної статистики як одного з ключових питань курсу теоретичної фізики педагогічного університету, що має важливе значення у фундаментальній професійній підготовці майбутніх учителів фізики. Зазначено, що незважаючи на достатню кількість наявних навчально-методичних джерел та оригінальність авторських підходів у висвітленні основних питань курсу, необхідність удосконалення методики його викладання за сучасних освітніх умов є актуальною. Як свідчить педагогічний досвід автора, ефективному засвоєнню здобувачами основ класичної статистики курсу теоретичної фізики сприятиме змістовна компактність, математична лаконічність і логічна послідовність викладу навчального матеріалу; забезпечення системної активної пізнавальної роботи з цілісним навчально-методичним комплексом дисципліни, зорієнтованого на формування наукового світогляду і стилю мислення як основи фахової компетентності, та неперервного контролю результатів їх навчальних досягнень. У стислому варіанті доведено фізичний зміст теореми про рівнорозподіл енергії за ступенями вільності молекули та віріал. Висвітлено фізичну сутність класичних теорій теплоємності газів, твердих тіл, рівноважного електромагнітного випромінювання абсолютно чорного тіла з використанням теореми про рівнорозподіл енергії. Акцентовано увагу на важливості усвідомлення студентами труднощів узгодження зазначених теорій з експериментом та необхідності подальших наукових пошуків у розв'язанні окреслених питань як поворотного пункту у розвитку фізичної науки початку XX століття, що призвело до народження квантової теорії і становлення нової фізичної картини світу. Зазначено, що ефективність пропонуваного автором методичного підходу у викладанні зазначених питань курсу теоретичної фізики підтверджується рівнем пізнавальної активності та результатами підсумкового модульного контролю здобувачів протягом останніх років.

Ключові слова: теоретична фізика, термодинаміка і статистична фізика, класична статистика, майбутній вчитель фізики.