

Scientific journal
PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION
Has been issued since 2013.

ISSN 2413-158X (online)
ISSN 2413-1571 (print)

Науковий журнал
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
Видається з 2013.



<http://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/>

Герасимова К.В., Ткаченко Г.І. Статистичні ідеї в курсі фізики технічних університетів. Фізико-математична освіта. 2019. Випуск 4(22). С. 22-27.

Herasymova C., Tkachenko G. Statistical ideas in the course of physics of technical universities. Physical and Mathematical Education. 2019. Issue 4(22). P. 22-27.

DOI 10.31110/2413-1571-2019-022-4-004
УДК 53:378.147

К.В. Герасимова
Криворізький національний університет, Україна
kate-geras@yandex.ua
ORCID: 0000-0001-8714-1006

Г.І. Ткаченко
Криворізький національний університет, Україна
tkachenkogi@ukr.net
ORCID: 0000-0003-2537-9195

СТАТИСТИЧНІ ІДЕЇ В КУРСІ ФІЗИКИ ТЕХНІЧНИХ УНІВЕРСИТЕТІВ

АНОТАЦІЯ

У статті розглянуто статистичні ідеї курсу фізики технічних університетів, викладання яких викликає певні дидактичні та методичні труднощі.

Формулювання проблеми. Статистичні ідеї – важливий чинник у розвитку і становленні фізики як природничої науки. Вони є основою сучасного розуміння і опису багатьох фізичних явищ. Однак ці ідеї, незважаючи на їх взаємозв'язок, в курсі фізики технічних закладів вищої освіти подаються розрізнено і не систематизовано. Крім цього, з огляду на досвід нашої роботи на кафедрі фізики Криворізького національного університету, статистичні уявлення важко засвоюються студентами, тому потребують особливих підходів при їх викладанні.

Матеріали і методи. Вирішенню поставленої проблеми сприяли аналіз наукової і науково-методичної літератури з курсу загальної фізики, логічно-аналітичний метод виявлення причинно-наслідкових зв'язків між статистичними ідеями у сучасній фізиці, узагальнення та систематизація викладення навчального матеріалу, спостереження за навчальним процесом у вищій школі.

Результати. Виявлено, проаналізовано та систематизовано в логічній послідовності і взаємозв'язку статистичні ідеї, такі як: ймовірність, густина ймовірності, статистичні середні величини, флуктуації, функції розподілу, які розрізнено розглядаються в багатьох розділах курсу загальної фізики. Запропоновано методичні рішення щодо подолання труднощів сприйняття цих питань та кращого їх засвоєння студентами.

Висновки. Статистичні ідеї являються важливим компонентом формування у студентів цілісної наукової картини світу. Викладачеві університету треба застосовувати такі методики, що дають змогу краще відобразити і розвинути статистичні уявлення у студентів. Розгляд статистичних ідей, виявлення хронологічної послідовності і аналогій між ними дозволяють подолати методичні труднощі у викладанні цих складних питань, систематизувати матеріал і доступно донести його до студентів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: фізика, статистичні ідеї, методика викладання, систематизація, узагальнення

ВСТУП

Постановка проблеми. Фізика початку ХХІ століття базується на трьох «великих ідеях»: статистичних, квантових та релятивістських. Ці ідеї частково відображені в університетському курсі загальної фізики, однак методичні пошуки кращого відтворення цих «великих ідей» мають активізуватись (Гончаренко, 2010). Аналіз підручників і навчальних посібників показав, що статистичним ідеям у курсі фізики вищих технічних закладів приділено, на наш погляд, недостатньо уваги (Воловик, 2005; Трофимова, 2006; Лопатинський & Зачек, 2009). Статистичні ідеї висвітлюються розрізнено і не систематизовано, тому статистичні уявлення часто важко сприймаються студентами. Вони не стали важливим компонентом у формуванні цілісної наукової картини світу, що є недоліком процесу навчання у вищій школі.

Актуальність дослідження. Статистичні ідеї та методи дослідження відіграють важливу роль в розв'язанні важливих різнобічних задач сучасної науки і техніки. Статистичні закони виражають певну тенденцію, що склалася в сукупності явищ у взаємодії безлічі випадкових факторів. Вони дозволяють з високою точністю робити прогнози про поведінку великих сукупностей об'єктів. Ймовірно-статистичний характер фізичних явищ і процесів враховується при

проектуюванні машин, приладів, апаратів тощо. Статистичні закономірності широко використовуються для характеристики надійності і довготривалості служби виробів. Відповідно до міжнародних стандартів ISO статистичні методи є невід’ємною частиною систем управління якістю. Вони знаходять застосування у світовій практиці з оцінки відповідності продукції і послуг (Демчук, 2014). Таким чином, методичні пошуки для активізації статистичних ідей у курсі фізики майбутніх інженерів є актуальними.

Мета статті. З огляду на вищесказане, **метою** нашої роботи є висвітлення і узагальнення статистичних ідей у фізиці і виявлення взаємозв’язку між ними.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для написання статті нами були використані такі методи дослідження: аналіз та систематизація наукової та навчально-методичної літератури з обраної тематики; спостереження за навчальним процесом; узагальнення власного педагогічного досвіду з викладання фізики у вищих технічних навчальних закладах.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Статистичні ідеї та методи дослідження розкриваються в курсі загальної фізики технічних університетів. Під час вивчення всього курсу викладачеві треба формувати і розвивати у студентів статистичні уявлення. Так наприклад, уже при вивченні механіки необхідно говорити про існування двох видів закономірностей: динамічних і статистичних. Такі поняття статистичної фізики, як ймовірність та густина ймовірності, статистичні середні значення фізичних величин, функції статистичного розподілу, флуктуації фізичних величин в умові рівноваги, повинні використовуватись протягом вивчення всього курсу фізики.

Розглянемо детальніше ці поняття у світлі статистичних уявлень.

1. Ймовірність і густина ймовірності

Ймовірність та її властивості розглядаються в молекулярній фізиці, при вивченні теми «Статистичні розподіли в ідеальних газах», коли ми переходимо до розгляду систем, що складаються з великої кількості частинок. Процеси в цих системах і закономірності носять ймовірнісний характер.

При вивченні розподілу Максвелла вводиться функція розподілу молекул ідеального газу за швидкостями (або густина ймовірності) $f(v)$ і умова її нормування:

$$f(v) = \frac{dw(v)}{dv} \text{ і } \int_0^{\infty} f(v)dv = 1,$$

де $dw(v)$ – ймовірність того, що швидкості молекул лежать в інтервалі від v до dv :

$$dw(v) = \frac{dN(v)}{N} = f(v)dv.$$

Аналогічно в даній темі розглядаються функція ймовірності розподілу молекул за енергіями теплового руху $f(\epsilon)$ і умова її нормування. Необхідно саме при вивченні даної теми закріпити ці поняття, оскільки в подальшому, у квантовій механіці, це значно полегшить сприйняття фізичного змісту хвильової функції Ψ :

$$|\Psi|^2 = \frac{dw}{dV} \text{ і } \int_{-\infty}^{+\infty} |\Psi|^2 dV = 1.$$

Ймовірність dw того, що частинка заходить в елементі об’єму dV пропорційна квадрату модуля хвильової функції $|\Psi|^2$ і елементу об’єму dV :

$$dw = |\Psi|^2 dV,$$

де $|\Psi|^2$ – густина ймовірності.

Переходячи до розгляду явищ перенесення, вводимо поняття ефективного перерізу молекул, числа зіткнення молекул за одиницю часу, довжини вільного пробігу молекул. Цим поняттям також надається ймовірнісний зміст. Поняття ефективного перерізу в подальшому поглиблюються в атомній і ядерній фізиці при розгляді явищ іонізації, розсіюванні потоку частинок, ядерних реакцій.

У квантовій механіці розглядається тунельний ефект, де знову йдеться про ймовірність виявлення частинки за межами «потенціального ящику». Коефіцієнт прозорості потенціального бар’єру

$$D = \frac{I_{\text{прох}}}{I_{\text{пад}}}$$

чисельно дорівнює ймовірності проникнення хвиль де Бройля через потенціальний бар’єр, тобто ймовірності проникнення частинки. В подальшому, у фізиці атомного ядра, саме тунельним ефектом пояснюється α -розпад – проникнення α -частинки через потенціальний бар’єр, що оточує ядро.

У формуванні і розвитку статистичних уявлень, понять ймовірності і густини ймовірності дуже важливими є питання про універсальність корпускулярно-хвильового дуалізму (гіпотеза де Бройля). При розгляді двоїстості властивостей світла необхідно відзначити, що інтенсивність I світлової хвилі є мірою ймовірності виявлення фотона у даній точці простору. Як відомо $I \sim A^2$, отже квадрат амплітуди світлової хвилі в даній точці є мірою ймовірності попадання фотонів в цю точку. Далі нескладно перейти до фізичного змісту хвиль де Бройля і хвильової функції Ψ : квадрат модуля амплітуди $|\Psi|^2$ хвиль де Бройля в даній точці є мірою ймовірності того, що частинку виявлено в цій точці; інтенсивність хвилі де Бройля в даній точці визначає число частинок, що попали в цю точку.

У фізиці атома статистичні методи та поняття ймовірності застосовувались в дослідах Резерфорда з дослідження радіоактивного розпаду. Закон радіоактивного розпаду також є статистичним:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}.$$

Стала розпаду λ характеризує ймовірність радіоактивного розпаду за одиницю часу.

2. Статистичні середні фізичні величини

При вивченні теми «Молекулярно-кінетична теорія ідеальних газів» розглядаються такі поняття: середня арифметична $\langle v \rangle$ і середня квадратична $v_{\text{кв}}$ швидкості молекул, середня кінетична енергія $\langle \varepsilon \rangle$ поступального руху молекули. Доцільно показати, що всі ці величини отримуються за допомогою введеної раніше ймовірності розподілу молекул:

$$\langle v \rangle = \int_0^{\infty} v f(v) dv = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}};$$

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\int_0^{\infty} v^2 f(v) dv} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}};$$

$$\langle \varepsilon \rangle = \int_0^{\infty} \varepsilon f(\varepsilon) d\varepsilon = \frac{3kT}{2}.$$

Відзначимо, що останнє з наведених рівнянь є окремим випадком теореми класичної статистики (теореми Больцмана) про рівномірний розподіл енергії за ступенями свободи молекули.

Під час вивчення всього курсу фізики розглядається ціла низка середніх статистичних величин: середній ефективний діаметр молекули, середня довжина вільного пробігу молекул, середнє число зіткнень молекул за одиницю часу, середня довжина вільного пробігу електрона на рівні Фермі, середній час осілого життя атома, середній час знаходження атома у збудженому стані, середній час життя радіоактивних атомів тощо.

3. Функції статистичного розподілу

Функція статистичного розподілу, або густина ймовірності розподілу частинок макроскопічної системи у фазовому просторі за координатами, імпульсами і квантовими станами є одним із основоположних понять статистичної фізики. Знання функції розподілу повністю визначає ймовірнісні властивості системи. Функції статистичного розподілу в переважній більшості випадків містять в собі всю можливу і тому вичерпну інформацію про властивості таких систем.

Під час розгляду функцій розподілу треба наголосити, що відповідно до загальної теорії рівноважних статистичних розподілів Гіббса, в стані теплової рівноваги при температурі T розподіл молекул по будь-якій характерній для їхнього стану величині (координаті, швидкості, енергії) має експонентний характер, причому в показнику експоненти стоїть взятє зі знаком мінус відношення характерної енергії молекули до величини kT , яка пропорційна середній кінетичній енергії хаотичного руху молекул.

Функція розподілу «працює» в багатьох питаннях загальної фізики. Вперше з нею знайомляться при вивченні ідеальних газів. Спочатку доцільно вивести барометричну формулу, що визначає розподіл тиску в однорідному полі тяжіння:

$$p = p_0 e^{-\frac{m_0 g h}{RT}}.$$

Потім її можна використати для випадку потенціальних полів зовнішніх сил і отримати функцію (закон) розподілу Больцмана для частинок у зовнішньому потенціальному полі:

$$n = n_0 e^{-\frac{U}{kT}}.$$

Закон Больцмана описує розподіл частинок за їх потенціальною енергією. Функцію розподілу Максвелла молекул за швидкостями

$$f(v) = A v^2 e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}}$$

можна представити у вигляді розподілу молекул за їх кінетичною енергією, якщо врахувати, що $\frac{m_0 v^2}{2} = \varepsilon$ – кінетична енергія однієї молекули:

$$f(\varepsilon) = B \varepsilon^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}},$$

де A і B – відповідні нормувальні коефіцієнти.

Узагальнений рівноважний розподіл молекул ідеального газу за координатами \vec{r} і імпульсами \vec{p} можна подати у вигляді добутку двох множників:

$$f(\vec{r}, \vec{p}) = n(\vec{r}) f(\vec{p}),$$

де $n(\vec{r})$ – неоднорідна концентрація молекул, що відповідно до Больцмана пов'язана з потенціальною енергією і $f(\vec{p})$ – максвеллівський розподіл молекул за імпульсами, пов'язаний з кінетичною енергією.

Таким чином представимо узагальнену функцію розподілу Максвелла-Больцмана для класичного ідеального газу:

$$f(\vec{r}, \vec{p}) = f(E_{\text{мех}}) = C e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} e^{-\frac{U(\vec{r})}{kT}} = C e^{-\frac{E_{\text{мех}}}{kT}},$$

де $E_{\text{мех}} = \varepsilon + U(\vec{r})$ – повна механічна енергія молекули, C – новий нормувальний коефіцієнт.

Випромінювання абсолютно чорного тіла за Ейнштейном; явища, що пов'язані з перенесенням маси (дифузія) описуються подібними експонентними статистичними функціями розподілу. Функція розподілу атомів по енергетичним рівням, яка розглядається у подальшому, має також експонентний характер:

$$N_n = N_0 e^{-\frac{E_n}{kT}}.$$

У формуванні статистичних уявлень дуже важливим є розділ «Елементи квантової статистики». У квантовій статистиці, яка досліджує системи частинок, що підлягають законам квантової механіки, поведінка макросистем пояснюється процесами, що відбуваються на атомно-молекулярному рівні. Саме при вивченні цього розділу вводяться квантові статистики Бозе-Ейнштейна і Фермі-Дірака.

При розгляді теплоємності твердих тіл необхідно зупинитись на моделі Ейнштейна. Згідно цієї теорії, теплові властивості ґратки трактуються як властивості одномірних гармонічних осциляторів з власною частотою ω і нульовою енергією ε_0 . Середнє значення енергії квантового осцилятора, що припадає на одну ступінь свободи виражається формулою

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{\hbar\omega}{2} + \frac{\hbar\omega}{e^{\frac{\hbar\omega}{kT}} - 1},$$

де $\frac{\hbar\omega}{2} = \varepsilon_0$ – нульова енергія коливання з даною частотою. Вводимо функцію розподілу Планка $\langle n \rangle = \frac{1}{e^{\frac{\hbar\omega}{kT}} - 1}$ і переходимо до статистики Бозе-Ейнштейна:

$$\langle n \rangle = \frac{1}{e^{\frac{\hbar\omega - \mu}{kT}} - 1},$$

де μ – хімічний потенціал, що залежить від природи частинки.

Далі говоримо про принцип Паулі і вводимо статистику Фермі-Дірака, застосувавши її до електронів у металах:

$$\langle n \rangle = \frac{1}{e^{\frac{\hbar\omega - \varepsilon_F}{kT}} + 1},$$

де ε_F – енергія Фермі. В подальшому статистикою Фермі-Дірака користуємося при розгляді термоелектронної емісії, контактних явищ та ін.

4. Флуктуації

Для системи у рівноважному стані середні значення фізичної величини залишаються сталими. Статистична фізика допускає можливість самочинного виходу замкненої системи із рівноважного стану. При цьому система переходить із більш ймовірного стану в менш ймовірний і ентропія її зменшується. Такий процес характеризується флуктуаціями – відхиленнями фізичних величин від їх середніх значень. При малому числі частинок флуктуації стають настільки значними, що динамічний опис втрачає зміст.

Кількісно флуктуації можуть бути вивчені при розгляді броунівського руху. Броунівський рух – це перший детально досліджений рух, викликаний флуктуаціями. Теорія броунівського руху має принципове значення, прояснює статистичну природу другого принципу термодинаміки і вказує межі його застосування. Другий принцип термодинаміки, незважаючи на його загальність, не має абсолютного характеру, і відхилення від нього (флуктуації) являються цілком закономірними. Прикладом таких флуктуаційних процесів є броунівський рух важких частинок, виникнення зародків нової фази при фазових перетвореннях, самочинні флуктуації температури і тиску в рівноважній системі тощо.

При розгляді броунівського руху виявляється важлива особливість: тут статистичному закону певною мірою підлягає рух однієї частинки. Відзначивши цей факт в даному місці, ми полегшимо в подальшому сприйняття того, що в квантовій теорії одні і ті ж статистичні закономірності описують поведінку як окремої мікрочастинки, так і їх сукупності. Методи статистичної фізики можуть застосовуватись не тільки до величезної кількості частинок, але, на певному рівні вивчення, і до однієї частинки.

ОБГОВОРЕННЯ

Після того, як молекулярно-кінетичні положення отримали чільне місце у фізиці, поява у фізичних теоріях статистичних методів дослідження стала неминучою. Поряд з усе більш глибоким проникненням у структуру матерії відбувалось неперервне розширення сфери дії статистичних закономірностей. Ймовірні статистичні закономірності, що описують поведінку великої сукупності мікрочастинок являються більш глибокими закономірностями у природі, ніж ті, з якими ми стикаємось в макросвіті – динамічними закономірностями. Найбільш точний опис довільного явища чи процесу можна розкрити за допомогою статистичних ідей, а динамічна теорія є грубішим наближенням до істини. Уявлення про динамічні закономірності історично були першими. Вони утворилися під впливом розвитку класичної фізики і, перш за все, класичної механіки. Уявлення про статистичні закономірності були сформовані у другій половині XIX століття під час формування класичної статистичної фізики. Динамічні закони являють собою нижчий етап в процесі пізнання навколишнього світу, статистичні ж закони є більш досконалим відображенням об'єктивних зв'язків в природі, наступним, більш високим етапом пізнання (Мякишев, 1973).

Нагадаємо основні етапи розвитку статистичної фізики.

Розвиток статистичної фізики як розділу теоретичної фізики розпочався в середині XIX століття. В 1859 р. англійський фізик Дж. Максвелл визначив функцію розподілу молекул ідеального газу за швидкостями. В 1860-70 р.р. німецький фізик Р. Клаузіус ввів поняття довжини вільного пробігу. Приблизно в той же час австрійський фізик Л. Больцман узагальнив розподіл Максвелла для випадку, коли газ знаходиться у зовнішньому потенціальному полі, довів теорему про рівномірний розподіл енергії за ступенями свобод молекули, вивів кінетичне рівняння, дав статистичне тлумачення ентропії і показав, що закон її зростання є наслідком кінетичного рівняння. Німецький фізик П. Друде (1900 р.) і голландський фізик Х. Лоренц (1904 р.) застосували кінетичну теорію для пояснення властивостей металів. Побудову класичної статистичної фізики було завершено в 1902 р. в роботах американського фізика Дж. У. Гіббса, який відкрив фундаментальні закони рівноважного розподілу ймовірностей стану статистичних систем в різних фізичних умовах. Теорія флуктуацій була розвинута в 1905-06 р.р. в роботах польського фізика М. Смолуховського і німецького фізика А. Ейнштейна. В 1900 р. німецький фізик М. Планк вивів закон розподілу енергії в спектрі випромінювання абсолютно чорного тіла, започаткувавши квантову механіку і квантову статистичну фізику. В 1907 р. Ейнштейн застосував квантову теорію до обчислення теплоємності твердих тіл, а німецький фізик В. Нернст (1911 р.) – теплоємності газів. В 1924 р. індійський фізик Ш. Бозе знайшов розподіл за імпульсами світлових квантів і пов'язав його з розподілом Планка. Ейнштейн узагальнив розподіл Бозе на гази із заданим числом частинок. Італійський фізик Е. Фермі в 1925 р. отримав функцію розподілу частинок, що підпорядковуються принципу Паулі, а англійський фізик П. А. М. Дірак встановив зв'язок цього розподілу і розподілу Бозе-Ейнштейна з математичним апаратом квантової механіки (Физический энциклопедический словарь, 1983).

Використання методів класичної статистики в теорії випромінювання абсолютно чорного тіла спричинило справжню революцію у фізиці – появі квантів, створенню квантової теорії. На основі уявлень Планка про дискретні значення енергії осцилятора розвинулась квантова статистична теорія. Квантова теорія є принципово статистичною. Якщо

в класичній статистиці рух кожної частинки розраховують за законами Ньютона, то в квантовій теорії одні і ті ж статистичні закономірності описують як поведінку окремої мікрочастинки, так і їх сукупність. Рух окремих мікрочастинок може підпорядковуватись законам класичної механіки або квантової механіки. Тому розрізняють класичну і квантову статистичну фізику: класична – описує властивості невироджених газів, систем слабозвзаємодіючих молекул тощо; квантова – властивості систем вироджених частинок, що підпорядковуються, залежно від їхніх спінів, статистикам Бозе-Ейнштейна або Фермі-Дірака.

Статистичні ідеї та методи являються також основою для розуміння процесів в твердих тілах, рідинах і плазмі. Подальший розвиток статистичної фізики у XX столітті дозволив пояснити і кількісно описати надпровідність, надтекучість, турбулентність, колективні явища в твердих тілах та плазмі, структурні особливості рідин. Саме статистична фізика дозволила створити таку науку, що інтенсивно розвивається, як фізика рідких кристалів і побудувати теорію фазових переходів і критичних явищ. Багато експериментальних методів дослідження речовини цілком базуються на статистичному описі системи. До них відносяться, перш за все, розсіювання холодних нейтронів, рентгенівських променів, видимого світла, кореляційна спектроскопія і т. д. Сучасна теорія взаємодії елементарних частинок (квантова теорія поля) є, насамперед, теорією систем з нескінченним числом ступенів свободи, де статистичні методи відіграють основоположну роль.

В наших дослідженнях ми торкнулись статистичних ідей в таких розділах загальної фізики, як «Молекулярна фізика і термодинаміка», «Елементи квантової статистики і фізики твердого тіла», «Квантова оптика», «Елементи атомної фізики». Вважаємо, що статистичні ідеї можна дослідити також при вивченні інших, не менш важливих питань, наприклад, при вивченні розділу «Магнетизм» треба підкреслити, що визначення намагніченості магнетиків принципово неможливе в рамках класичної фізики, оскільки із загальних положень класичної статистики випливає, що магнітний момент будь-якого магнетика в стаціонарному стані дорівнює нулю, що суперечить досвіду. Пояснення магнітних властивостей магнетиків речовини можливе тільки на основі квантової теорії.

Систематичне поглиблення понять про флуктуацію допоможе правильному сприйняттю дуже складного поняття фізичного вакууму і усіх явищ, що з ним пов'язані. Вакуум являється суперпозицією нульових коливань поля флуктуаційного характеру, тобто станом із виникаючими і зникаючими фотонами, електронно-позитронними парами частинок і античастинок. Енергія нульових коливань визначається за формулою:

$$\varepsilon_0 = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{2} \hbar \omega_k.$$

Число ступенів свободи поля нескінченно велике. Квантові флуктуації поля усунути не можна, і при взаємодії електромагнітного поля з зарядженими частинками вони приводять до ефектів, що можна спостерігати експериментально. Перехід атомів із збуджених станів в стаціонарний стан (спонтанне випромінювання у вакуумі) відбувається під дією нульових коливань поля. В подальшому теорію флуктуацій можна також поглибити при розгляді змін кінетичних процесів поблизу критичного стану, електричних флуктуацій та флуктуацій числа фотонів в світлових потоках малої інтенсивності.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Наші теоретичні дослідження показали, що статистичні ідеї дають найбільш точне представлення сучасної фізичної картини світу. Статистичні закономірності мікрочастинок є набагато глибшими закономірностями, ніж динамічні закономірності макрооб'єктів, тому їх вивчення і розуміння мають важливе значення. Статистичні ідеї повинні «працювати» протягом вивчення всього курсу загальної фізики. Усвідомлення статистичних ідей та методів дослідження сьогоденнішими студентами, майбутніми інженерами, озброїть їх знаннями і уміннями розв'язувати різноманітні задачі, які можуть постати перед ними у подальшій практичній діяльності. Викладачеві університету потрібно застосовувати такі методи, які дозволять доступно і логічно донести студенту ці важкодоступні поняття.

Список використаних джерел

1. Воловик П.М. *Фізика для університетів*. Повний курс в одному томі: підручник. Київ: Ірпінь: Перун, 2005, 864 с.
2. Гмурман В. Е. *Теория вероятностей и математическая статистика*: учеб. пособ. для вузов. 9-е изд., стер. Москва: Высшая школа, 2003. 479 с.
3. Гончаренко С. Актуальні проблеми методики фізики. *Наукові записки Кіровоградського державного педагогічного університету ім. В. Винниченка. Сер. Педагогічні науки*. Кіровоград: КДПУ ім. В. Винниченка, 2010. Вип. 90. С. 76-81. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nz_p_2010_90_23.
4. Демчук Л. Статистичні методи в управлінні якістю виробничих процесів. *Вимірвальна техніка та метрологія: міжвідомчий наук.-техн. збірник*. Львів: Львівська політехніка, 2014. Вип. 75. С. 131-137. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/metrolog_2014_75_28.
5. Іщенко Р. М. Викладання фізики в технічних університетах України на сучасному етапі. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ: НТУ. 2017. № 1. С. 147-153. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu_2017_1_22.
6. Казанский В.Б. *Статистическая физика и термодинамика*: учеб. пособ. Харьков: Харьковский национальный университет им. В. Каразина, 2013. 292 с.
7. Лопатинський І.Є., Зачек І.Р., Ільчук Г. А., Романишин Б. М. *Фізика для інженерів*: підручник для вищ. техн. навч. закладів. Львів: Львівська політехніка, 2009. 385 с.
8. Мякишев Г.Я. *Динамические и статистические закономерности в физике*. Москва: Наука, 1973. 273 с.
9. Трофимова Т. И. *Курс физики*: учеб. пособие для вузов. 11-е изд., стер. Москва: Академия, 2006. 560 с.
10. *Физический энциклопедический словарь* / Гл. ред. А. М. Прохоров. Москва: Советская энциклопедия, 1983. 928 с.

References

1. Volovyk, P.M. (2005). *Fizyka dla universytetiv [Physics for Universities]*. Kyiv: Irpin: Perun [in Ukrainian].

2. Gmurman, V. E. (2003). *Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika [Probability theory and mathematical statistics]*. Moskva: Vysshaja shkola [in Russian].
3. Honcharenko, S. (2010). Aktualni problemy metodyky fizyky [Actual problems of physics methodology]. *Naukovi zapysky Kirovohrads'koho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu im. V. Vynnychenka – Scientific notes of Kirovograd State Pedagogical University named after V. Vinnichenko*, 90, 76-81. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nz_p_2010_90_23 [in Ukrainian].
4. Demchuk, L. (2014). Statystychni metody v upravlinni yakistiu vyrobnychykh protsesiv [Statistical methods in production process quality management]. *Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia – Measuring equipment and metrology*. Lviv, 75, 131-137. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nz_p_2010_90_23 [in Ukrainian].
5. Ishchenko, R. M. (2017). Vykladannia fizyky v tekhnichnykh universytetakh Ukrainy na suchasnomu etapi [Teaching physics at the technical universities of Ukraine at the modern stage]. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu – Bulletin of the National Transport University*. Kyiv, 1, 147-153. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu_2017_1_22 [in Ukrainian].
6. Kazanskij, V.B. (2013). *Statisticheskaja fizika i termodinamika [Statistical physics and thermodynamics]*: Har'kov: Har'kovskij nacional'nyj universitet im. V. Karazina [in Russian].
7. Lopatynskyi, I.Ie., Zachek, I.R., Ilchuk, H. A. & Romanyshyn, B. M. (2009). *Fizyka dlia inzheneriv [Physics for engineers]*. Lviv: Lvivska politekhnika [in Ukrainian].
8. Mjakishev, G.Ja. (1973) *Dinamicheskie i statisticheskie zakonomernosti v fizike [Dynamic and statistical regularities in physics]*. Moskva: Nauka [in Russian].
9. Trofimova, T. I. (2006) *Kurs fiziki [Course of physics]*. Moskva: Akademija [in Russian].
10. *Fizicheskij jenciklopedicheskij slovar' [Physical encyclopedic dictionary] (1983)*. In A. M. Prohorov (Ed.). Moskva: Sovetskaja jenciklopedija [in Russian].

STATISTICAL IDEAS IN THE COURSE OF PHYSICS OF TECHNICAL UNIVERSITIES

Catherine Herasymova, Galina Tkachenko

Kryvyi Rih National University, Ukraine

Abstract.

Formulation of the problem. This article examines the statistical ideas of the physics course of technical universities, the teaching of which causes certain didactic and methodical difficulties. Statistical ideas are an important factor in the development and formation of physics as a natural science. They are the basis of modern understanding and description of many physical phenomena. However, these ideas, despite their interconnection, are presented in a separate and unsystematic way in the physics course of technical universities. In addition, taking into account the experience of our work at the Department of Physics of the Kryvyi Rih National University, statistical representations are difficult for students to master, so their teaching needs special approaches.

Materials and methods. The solution of this problem was facilitated by the analysis of scientific and scientific-methodological literature on the course of general physics, the logical-analytical method of identifying causal relationships between statistical ideas in modern physics, the generalization and systematization of presentation of educational material, the observation of the educational process in higher education.

Results. Statistical ideas, such as probability, probability density, statistical averages, fluctuations, distribution functions, which are scattered throughout many sections of the course of general physics, are discovered, analyzed and systematized in a logical sequence and interconnection. Methodological solutions to overcome the difficulties of perceiving these issues and their better understanding by students are proposed.

Conclusions. Statistical ideas are an important component that forms a holistic scientific picture of the world. The university teacher should apply such techniques that better reflect and develop students' statistical representations. Consideration of statistical ideas, identification of chronological sequence and analogies between them allow us to overcome methodological difficulties in teaching these complex issues, systematize the material and make it accessible to students.

Key words: physics, statistical ideas, teaching methods, systematization, generalization.