

УДК 378.016:53

**Людмила Благодаренко**, доктор педагогічних наук, професор,  
професор кафедри загальної фізики та методики навчання фізики,  
**Сергій Василенко**, кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
доцент кафедри загальної фізики та методики навчання фізики,  
Український державний університет імені Михайла Драгоманова,  
м. Київ, Україна

## КВАНТОВА СТАТИСТИКА ФЕРМІ-ДІРАКА ЯК ВАЖЛИВИЙ ЕЛЕМЕНТ СУЧАСНОЇ НАУКОВОЇ КАРТИНИ СВІТУ: МЕТОДИЧНИЙ АСПЕКТ

**Анотація.** У тезах розглянуто методичну схему вивчення квантової статистики Фермі-Дірака у процесі підготовки студентів фізичних спеціальностей. Акцентовано увагу на необхідності подолання формального засвоєння матеріалу шляхом поєднання проблемного навчання та дослідницької діяльності студентів. Показано значення фізичної інтерпретації принципу Паулі, рівня Фермі та функції розподілу для формування цілісного розуміння закономірностей мікросвіту. Обґрунтовано доцільність використання міждисциплінарних зв'язків і сучасних технологічних застосувань квантової статистики для підвищення мотивації студентів до вивчення квантової фізики.

**Ключові слова:** квантова фізика, квантова статистика Фермі-Дірака, методична схема, проблемне навчання.

**Abstract.** The theses consider a methodological framework for studying Fermi–Dirac quantum statistics in the training of physics students. Particular attention is paid to overcoming the formal assimilation of the material through the integration of problem-based learning, and students' research activities. The importance of the physical interpretation of the Pauli exclusion principle, the Fermi level, and the distribution function for forming a holistic understanding of the microworld laws is demonstrated. The expediency of using interdisciplinary connections and modern technological applications of quantum statistics to increase students' motivation for studying quantum physics is substantiated.

**Keywords:** quantum physics, Fermi–Dirac quantum statistics, methodological scheme, problem-based learning.

Як показує практичний досвід, значні ускладнення виникають у студентів у ході засвоєння поняття про квантові статистики. Тому нами запропоновано методичну схему викладання питання «Квантова статистика Фермі–Дірака».

Вивчення квантової статистики повинно ґрунтуватися не лише на математичному формалізмі, але й на поступовому формуванні у студентів уявлення про фундаментальну роль статистичних закономірностей у мікросвіті. Основна методична проблема полягає в тому, що студенти часто сприймають статистику Фермі-Дірака як набір формул, не усвідомлюючи її фізичного змісту та світоглядного значення. Тому викладання доцільно будувати за принципом переходу:

*від класичних уявлень → до кризи класичної фізики → до необхідності квантового опису → до фізичного змісту ферміонної статистики → до сучасних застосувань.*

Першим етапом цієї схеми є мотиваційно-проблемний. На початку доцільно створити інтелектуальну проблему, яка демонструє неспроможність класичної статистики пояснити властивості мікросистем і зробити такі методичні акценти: порівняння поведінки класичних частинок та мікрочастинок; обговорення питань, які стосуються станів електронів в атомах; аналіз фізичних явищ, які неможливо пояснити в класичній фізиці (електронна структура атома; електропровідність металів, виродження електронного газу). На цьому етапі важливо сформулювати у студентів усвідомлення того, що статистика у квантовій фізиці не є не наслідком неможливості визначення стану частинок, а відображає фундаментальну властивість мікросвіту. Перед введенням статистики Фермі-Дірака необхідно пригадати хвильові властивості частинок речовини, принцип невизначеностей Гайзенберга, поняття квантового стану, поняття про дискретність енергетичних рівнів, принцип Паулі. Особливо важливо показати логічний зв'язок між принципом Паулі та статистикою Фермі-Дірака. Доцільно підкреслити, що сама форма розподілу є математичним відображенням заборони перебування двох однакових ферміонів в одному квантовому стані.

На етапі уведення поняття про квантову статистику Фермі-Дірака доцільно уникати надмірної математизації. Основний акцент потрібно зробити на залежності

заселеності рівнів від температури та понятті рівня Фермі. Особливу увагу слід приділити поняттю енергії Фермі як межі заповнення електронних станів при абсолютному нулі температур.

Важливою є інформація про фізичні застосування статистики Фермі-Дірака. Саме цей етап є визначальним для подолання формального сприйняття теми. Необхідно розглянути такі приклади: 1. Електронний газ у металах (природа електропровідності, виродження електронного газу). 2. Напівпровідники (концентрація носіїв заряду, положення рівня Фермі, температурна залежність провідності). 3. Астрофізика (білі карлики, нейтронні зорі, тиск виродженого газу). 4. Сучасні технології (транзистори, мікроелектроніка, квантові комп'ютери; нанофізика). Саме зв'язок із сучасними технологіями дозволяє студентам усвідомити, що квантова статистика є не абстрактною теорією, а основою сучасної світобудови. Доцільно також провести порівняння різних статистик, а саме: статистики Максвелла-Больцмана; статистики Фермі-Дірака; статистики Бозе-Ейнштейна. Це формує системність знань та допомагає студентам побачити межі застосування різних статистичних моделей.

Важливим є узагальнювально-світоглядний етап. На завершення важливо вийти за межі формул і показати філософське значення теми. Студенти повинні усвідомити: мікросвіт має принципово інші закономірності, ніж макросвіт; індивідуальність квантових станів визначає структуру матерії; принцип Паулі фактично забезпечує стабільність речовини та існування складних матеріальних систем. Саме при цьому квантова статистика перестає сприйматися абстрактне питання і стає елементом наукової картини світу.

Основними методичними особливостями вивчення теми «Квантова статистика Фермі-Дірака» є такі:

1. *Проблемність навчання.* Навчальний матеріал потрібно подавати через фізичні суперечності та проблемні ситуації, а не через готові формули. Важливо

пам'ятати, що математичний апарат не повинен домінувати над фізичною інтерпретацією.

2. *Візуалізація абстрактних понять.* Необхідно активно використовувати графіки функції розподілу, енергетичні діаграми, моделі заповнення станів, комп'ютерні симуляції.

3. *Міждисциплінарність.* Потрібно демонструвати зв'язки з фізикою твердого тіла, астрофізикою, електронікою, нанотехнологіями, інформатикою.

4. *Дослідницька спрямованість.* Доцільно пропонувати студентам робити аналіз реальних фізичних систем, моделювати розподіли, виконувати мініпроекти.

5. *Світоглядна орієнтація.* Викладання квантових статистик повинно формувати сучасне наукове мислення, розуміння ймовірнісного характеру мікросвіту, усвідомлення єдності фундаментальної науки і технологічного прогресу. Після вивчення теми «Квантова статистика Фермі-Дірака» доцільно запропонувати студентам виконання мініпроекту. Актуальність проєктної діяльності на цьому етапі освітнього процесу зумовлена тим, що квантова статистика Фермі-Дірака є фундаментом сучасного розуміння будови речовини, електронних властивостей металів і напівпровідників, астрофізичних об'єктів та принципів функціонування мікроелектроніки. Проте студенти часто сприймають її лише як складний математичний апарат без усвідомлення її фундаментальної ролі у розвитку науки і технологій.

Проектна діяльність дозволяє поєднати теоретичні знання з реальними фізичними явищами, сформувати системне бачення мікросвіту, показати зв'язок квантової фізики з сучасними технологіями, розвивати дослідницьке та критичне мислення студентів. Метою проєкту є формування у студентів цілісного розуміння фізичного змісту статистики Фермі-Дірака, її світоглядного значення та практичного застосування у сучасній фізиці й техніці.

Визначимо основні завдання проєкту.

*Теоретичні:* дослідити передумови виникнення квантових статистик; проаналізувати фізичний зміст принципу Паулі; з'ясувати особливості ферміонів; дослідити функцію розподілу Фермі-Дірака.

*Практичні:* проаналізувати застосування статистики Фермі-Дірака у фізиці твердого тіла; дослідити роль рівня Фермі у напівпровідниках; встановити значення ферміонної статистики для сучасної електроніки.

*Світоглядні:* усвідомити роль квантових закономірностей у побудові сучасної наукової картини світу; показати значення фундаментальної науки для технологічного розвитку суспільства.

Навчальний проєкт з теми «Квантова статистика Фермі-Дірака» дозволяє перетворити складну і абстрактну для студентів тему з розділу квантової фізики на змістовний інтелектуальний простір дослідження сучасної науки. Такий підхід сприяє не лише засвоєнню теоретичного матеріалу, але й формуванню у студентів наукового світогляду і дослідницького мислення, а також усвідомленню ними фундаментальної ролі квантової фізики у розвитку сучасної цивілізації.

Отже, методична схема викладання теми «Квантова статистика Фермі-Дірака» повинна бути спрямована не стільки на механічне засвоєння формул, скільки на формування у студентів цілісного розуміння фізики мікросвіту. Лише за умови поєднання проблемного навчання, фізичної інтерпретації, міждисциплінарних зв'язків і сучасних технологічних застосувань студенти зможуть усвідомити фундаментальність квантових статистик та їх визначальну роль у розвитку сучасної науки і техніки.

### **Список використаних джерел**

1. Благодаренко Людмила, Василенко Сергій. Формування елементів операційно-методичної компетентності майбутніх учителів фізики у ході фахової підготовки. *Збірник наукових праць Кам'янець Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка. 2025. Вип. 31: «Становлення*

майбутнього вчителя в умовах цифрової трансформації природничо-наукової освіти». С.107-112.

2. Благодаренко Л. Ю., Василенко С. Л. Модель організації освітнього процесу при вивченні сучасних проблем квантової фізики. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. 2022. Вип. 28. С. 46-49.