

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/>

Скалозуб В.В., Турінов А.М. *Методологічні аспекти опису стану квантових систем // Фізико-математична освіта : науковий журнал. – 2017. – Випуск 3(13). – С. 141-146.*

Skalozub V., Turinov A. *Methodological Aspects Of State Description For Quantum Systems // Physical and Mathematical Education : scientific journal. – 2017. – Issue 3(13). – P. 141-146.*

УДК 372.8:378:53

В.В. Скалозуб, А.М. Турінов

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна
 andrii.turinov@gmail.com*

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОПИСУ СТАНУ КВАНТОВИХ СИСТЕМ

Анотація. Сучасна фізика — це квантова фізика, об'єктом вивчення якої є закономірності мікросвіту через опис станів і руху мікрочастинок. Систематизація знань з цієї дисципліни, а також формування сучасного наукового світогляду в студентів фізичних спеціальностей визначається рівнем засвоєння фундаментальних фізичних законів, теорій і принципів. Тому в методологічному аспекті дуже велике значення має вірне розуміння студентами основних фізичних понять, наприклад, поняття стану квантових систем. В даній статті на базі визначення фізичної величини як кількісно вимірюваної властивості матерії аналізуються і порівнюються поняття стану системи в класичній і квантовій фізиці. Обговорюється роль співвідношень невизначеностей Гейзенберга при формуванні поняття стану квантового об'єкта. Стан виникає як результат взаємодії об'єкта при його рухах в різноманітних макроскопічних умовах. Проводиться порівняння понять класичної і квантової суперпозиції станів системи. Наведено приклади, які роз'яснюють обговорювані положення. Підкреслюється, що поняття стану квантової системи, який описується хвильовою функцією, полягає в об'єктивному описі всіх потенційних можливостей, притаманних мікрооб'єкту.

Ключові слова: квантова механіка, динамічні змінні, класичні і квантові системи, співвідношення невизначеностей Гейзенберга, суперпозиція станів, принцип причинності

Постановка проблеми. На сучасному етапі реформування вищої освіти в Україні, зокрема, фізичних спеціальностей, основний наголос робиться на посиленні її методологічної компоненти. Одна з проблем, що постала перед нами наразі, полягає в тому, що фізика не повинна сприйматися аудиторією як перелік відкриттів та набір формул, а має формувати в студентів наукове мислення в процесі пізнання сучасної наукової картини світу. З погляду на це, дуже важливе значення має вірне осмислення і розуміння основних фізичних понять, зокрема, поняття стану в класичній та квантовій фізиці.

Аналіз актуальних досліджень. Поняття стану системи є основним у фізиці [1-8]. Воно виражає факт можливості введення експериментальним шляхом низки динамічних змінних «фізичних величин», які дозволяють встановити характер руху системи у просторі та часі. Також воно дозволяє визначити характер взаємодії з іншими об'єктами. Подання стану з необхідністю пов'язане з сумісними між собою (такими, що не виключають одне одного) вимірюваннями певного набору фізичних величин, на базі яких він вводиться. Більш конкретне розуміння стану залежить від природи системи та від того, яким закономірностям — класичним чи квантовим — вона підпорядковується.

Кардинальні відмінності, що виникають у цих випадках, обумовлені фактом існування в природі кванту дії — сталої Планка $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,054 \cdot 10^{-27}$ ерг · с = $1,054 \cdot 10^{-34}$ Дж · с. Область явищ та процесів, характерна дія яких є багато більша за \hbar , вивчається класичною фізикою. Сюди відносяться механіка Ньютона - Галілея, спеціальна теорія відносності, електродинаміка, загальна теорія відносності, термодинаміка та статистика та інші. Квантова фізика вивчає явища і процеси, характерні дії яких порядку \hbar . У нерелятивістській квантовій механіці, що обговорюється нижче, вивчаються властивості атомів, молекул, твердих тіл, явища надпровідності, надплинності тощо.

Мета статті. Стаття присвячена методологічним питанням опису станів квантових систем з погляду динамічних змінних.

Виклад основного матеріалу.

1. Фізичні величини та умови їх вимірювання

Існування кванту дії є фундаментальний факт. Як показує досвід усіх відомих вимірювань, фізичні величини, добуток розмірностей яких дорівнює розмірності дії (*енергія · час*), не можуть бути виміряні у межах однієї схеми експерименту. Необхідні експерименти, які є принципово несумісними. Це означає, що фізичні умови для вимірювання однієї з таких величин повністю виключають можливість вимірювання іншої величини. Остання залишається зовсім не визначеною. Формально говорять, що вона не існує в таких умовах спостереження. І навпаки, для вимірювання другої з цих величин необхідні умови (макроскопічна обстановка), які повністю виключають можливість вимірювання першої з них. Таке положення є загальним і не залежить від того, класичним чи квантовим закономірностям система підпорядкована. Різниця полягає в тому, що для класичних систем впливом макрообстановки, яка відповідає вимірюванням, можливо знехтувати. Тоді як для квантових систем нехтування неприпустиме, оскільки макрообстановка вимірювання змінює характер руху тіла.

У класичній фізиці, де квант дії не враховується, факт можливості несумісності вимірювань різних величин не розглядається. Виходячи з макроскопічного досвіду, просто вважають, що фізичні процеси відбуваються «самі по собі» і не залежать від того, в яких умовах вони виникли та відбуваються. Зміну характеру руху пов'язують із впливом інших тіл, взаємодій. Тут характерна «абсолютизація» та «ідеалізація» фізичних процесів [1, 2]. Як наслідок, виникає можливість максимальної повноти опису руху. Класична повнота означає залучення для опису руху результатів вимірювань, отриманих у різних макроумовах, навіть таких, які є взаємовиключні.

Наприклад, одним із основних у механіці є поняття траєкторії руху. Воно передбачає, що в кожній її точці можливо виміряти вектор імпульсу, який є дотичним до траєкторії. Тобто, необхідно виміряти координату та імпульс рухомого тіла одночасно. Відповідно до процедур вимірювань, для визначення координат треба мати систему жорстких важких масштабів, які фіксують положення тіла. Вимірювання імпульсу, зокрема, можна реалізувати за допомогою зіткнення з деяким легким тілом, за його віддачею. Отже, для вимірювання координат і імпульсів необхідно створити умови, які є взаємовиключними. Установка не може бути водночас і важкою, і легкою. В класичній фізиці цією обставиною нехтують і використовують для повного опису руху величини, отримані в різних, що виключають одна одну, схемах дослідів. Із цим, власне, і пов'язана принципова можливість проведення максимально детального опису руху. Стани класичних систем завжди виникають в результаті таких «повних» вимірювань. Далі ці стани рухаються за законами класичної динаміки і можуть бути визначені в будь-який наступний момент часу. Підкреслимо ще раз, кожна фізична величина визначається за певною процедурою вимірювання (рухів у відповідних макроумовах) і не існує «сама по собі».

Квантова механіка з необхідністю враховує умови – макроскопічну обстановку, в якій рухається система. На перший план виступає факт, що всі квантові об'єкти є цілісними і неподільними. Формально кажучи, не існує жодної частинки (наприклад, електрона) поза певних зовнішніх умов. Електрон може знаходитися у вільному просторі, в атомі, в пучках прискорювачів тощо. Все це є різні умови руху. Стан електрона буде визначатися різними змінними, отриманими при вимірюванні виключно у відповідних макроумовах. Приймається, що для опису руху можливо використовувати лише ті фізичні величини, які відповідають одній схемі експериментів (руху в одних певних макроумовах). Уже з цього випливає, що такий опис не може бути детальним у класичному розумінні. Саме це принципове положення обумовлене існуванням кванту дії.

Для подання стану в квантовій фізиці необхідно звернутися до незвичного для класики поняття повного набору фізичних величин [3]. Він визначається як сукупність величин, які можна виміряти в одній схемі досліду. Зрозуміло, що в різних макроумовах можна виміряти різні фізичні величини. Вони і задають відповідний стан квантової системи. Наприклад, повертаючись до одного електрона, можна задати його стан у вільному просторі, вимірюючи енергію, імпульс та власний механічний момент (так званий спин). Для задання стану електрона в атомі необхідно виміряти його енергію, момент імпульсу та спин. Вимірювання цих наборів відповідають взаємовиключним умовам руху в тому сенсі, що вимірювання, скажімо, імпульсу в атомі повністю знищує попередній стан, оскільки вимагає принципово інших макроумов для уведення імпульсу як фізичної величини. Цей є зрозумілим, оскільки вимірювання імпульсу вимагає трансляції у просторі, тоді як вимірювання моменту імпульсу передбачає можливість обертання навколо виділеної осі, що вочевидь виключає трансляції, перпендикулярні до цієї осі.

2. Стани та об'єкти квантової теорії

Названі вище обставини відкривають шляхи до опису руху квантових систем та їх станів. Основним принципним фактором тут виступають співвідношення невизначеностей для фізичних величин. Вони були

вперше уведені Вернером Гейзенбергом. Найбільш відомим є співвідношення невизначеностей для координат і імпульсів квантового об'єкта (частинки):

$$\Delta p_x \cdot \Delta x > \frac{h}{2\pi}, \quad (1)$$

де Δ є невизначеність відповідної змінної. У першому наближенні її можна розглядати як неточність, з якою можна знати відповідну змінну і відповідних макроумовах. Аналогічні співвідношення існують для інших координат і відповідних імпульсів. Співвідношення стверджує, що добуток невизначеностей координат та імпульсів більше або дорівнює кванту дії. За своїм змістом ці та всі інші аналогічні співвідношення накладають обмеження на можливість застосування класичних уявлень для фізичних величин, добуток розмірностей яких дорівнює розмірності дії [4]. В такому контексті вони являють собою деструктивний принцип теорії. Так, зокрема, згідно до (1) можна стверджувати, що рухи квантових систем здійснюються не за траєкторіями! Це стає очевидним, оскільки параметри траєкторії не можуть бути зафіксованими в одній схемі вимірювання [3]. Разом з тим, врахування співвідношень невизначеностей сприяє правильній фізичній постановці задач у квантовій теорії.

Перейдемо тепер до інших принципів, на яких базується квантова теорія. Почнемо з того, що на сьогодні існує як мінімум три рівноправні формулювання нерелятивістської квантової механіки. Вони виникли в різні часи її становлення і розбудови. В математичному контексті формулювання реалізують різні способи уведення сталої Планка в рівняння руху та різною мірою відповідають класичному способу опису фізичних процесів.

Історично першим був підхід, розроблений у 20-х роках минулого сторіччя Вернером Гейзенбергом та Ервіном Шредінгером, які сформулювали рівняння руху, названі на їх честь. Другий був розроблений Річардом Фейнманом у 40-50-х роках і став дуже популярним в сучасній квантовій теорії поля. Третій підхід був започаткований у 60-70-ті роки. Він пов'язаний із стохастичною динамікою і не буде згадуватися у подальшому.

У всіх підходах приймається як основний постулат, що будь-який стан квантової системи створюється (або виникає) в результаті вимірювання повного набору фізичних величин. Такий набір визначається експериментально і складається із спостережних величин, які можна виміряти в одній схемі експерименту. Отже, приймається, що вимірювання задає стан системи. Той факт, що існують різні повні набори величин, які відповідають різним не сумісним між собою макроумовам руху, означає, що в певних умовах виникають стани квантових систем, які не можуть реалізуватися у класичному розумінні. Відповідні класичні поняття взагалі не зв'язані між собою і виключають одне одного. Типовий приклад – поняття частинки або хвилі, що застосовується до неподільного квантового об'єкту. З точки зору класичної фізики, для частинок необхідно застосовувати імпульсно-енергетичні змінні, які є локальними характеристиками. Для хвиль же типовими є частота та довжина хвилі, що відповідає розподіленню у просторі і часі процесам. При намаганні вимірювати у таких об'єктах величини із іншого повного набору початковий стан системи повністю зникає. Він замінюється на стан, що відповідає умовам останнього вимірювання.

У зв'язку зі сказаним виникають два принципових питання: 1) Що становить об'єкт квантової теорії? 2) Яким чином пов'язані між собою стани однієї неподільної системи, що утворилися при вимірюванні різних повних наборів фізичних величин, тобто в різних умовах руху? Зрозуміло, що такі питання взагалі не ставляться в класичній фізиці. Також бажано з'ясувати, чи можливо скористатись, і якщо так, то в якій мірі, уявленнями класичної фізики для опису квантових систем і процесів? Позитивна відповідь в значній мірі сприятиме поглибленню уявлень про квантову механіку та її принципи.

Для відповіді краще звернутися до формулювання квантової механіки, розробленого Фейнманом. Евристично в загальних рисах воно зводиться до наступного. Найбільш загальним для опису механічних рухів є принцип найменшої дії Гамільтона. Його слід розуміти як узагальнення всіх існуючих експериментальних даних. Принцип стверджує, що істинною з усіх можливих траєкторій руху, які з'єднують початкову точку руху тіла у момент часу t_1 з кінцевою точкою руху в момент t_2 , є та, для якої дія системи є мінімальною. Формально для знаходження істинної траєкторії необхідно порівняти дії, обчислені вздовж усіх траєкторій, і знайти єдину, яка є екстремальною. В такому формулюванні на перший план виступають інтегральна характеристика руху – дія системи – та порівняння її значень на різних траєкторіях. Із умови стаціонарності дії виводяться диференціальні рівняння руху.

Отже, головною змінною виступає дія вздовж траєкторії у певних умовах руху. Цей факт є найбільш важливим, оскільки він не залежить від того, яким закономірностям (класичним чи квантовим) підпорядкована система. У формулюванні Фейнмана приймається, що для опису переходу квантової системи із початкової точки в кінцеву слід враховувати всі можливі траєкторії, які з'єднують ці точки. При цьому додатково слід також враховувати вагу траєкторій (тобто їх чисельну значимість). Наочно (та формально математично) це означає, що перехід здійснюється як рух окремого тіла за всіма траєкторіями одночасно. Вага ж кожної траєкторії визначається за допомогою певної функції розподілу, яка залежить від величини дії системи. Також можлива інтерференція внесків різних траєкторій. Інтерференція принципово необхідна,

оскільки мова йде про рух неподільного об'єкта. Уявлення про не екстремальні окремі траєкторії та їх роль дозволяють наглядно описувати квантовий рух. Він може представлятися як перехід не за однією траєкторією, якої не існує згідно з співвідношенням (1), а за неперервною множиною таких близьких одна до одної траєкторій. Для опису квантових переходів був розроблений математичний формалізм, який називається «інтеграли за траєкторіями». Функції, що в ньому використовуються, повністю визначаються у змінних класичної фізики. Таким чином, формально можливо подавати квантовий перехід із однієї точки до іншої як рух за всіма можливими класичними траєкторіями, що їх з'єднують, та враховувати інтерференції. Класичний рух здійснюється за єдиною траєкторією – екстремаллю дії системи.

Існування кванту дії у природі та принцип найменшої дії Гамільтона створюють основу для використання інтегральних характеристик при описі квантових систем. Як і в класичній фізиці, зберігається можливість описувати рухи, порівнюючи дії систем у різних макроумовах. При цьому об'єктом теорії стають результати взаємодії квантових систем з класичними приладами. Відповідно, стани квантових систем будуть виникати в результаті цих взаємодій. Отже, однією із задач теорії буде передбачення цих результатів для будь-яких початкових станів системи. Оскільки повний набір фізичних величин не відповідає детальному з точки зору класичної фізики опису системи, передбачення результату окремого вимірювання носить ймовірнісний характер. Із цим фактом пов'язана принципова необхідність залучення теорії ймовірності для опису квантових процесів. Таким чином, задачею теорії є передбачення всіх результатів вимірювання фізичних величин у будь-якому стані квантової системи та ймовірностей, з якими вони будуть отримані. Для здійснення цих задач у формулюванні Фейнмана можливо використовувати основні уявлення класичної фізики, доповнюючи їх новими поняттями, які фактично є взаємовиключними з точки зору самої ж класики. Це є плата за наочність, яка не враховує принцип невизначеностей Гейзенберга, той принциповий факт неможливості проведення одночасних вимірювань динамічних змінних, добуток яких має розмірність дії.

3. Принцип суперпозиції станів

До цього моменту ми не говорили про власне опис станів квантових систем, зосереджуючись на фізичних умовах їх виникнення або створення. Загальним підсумком є твердження – вимірювання створює стан квантової системи. Наразі перейдемо до опису станів та властивостей систем. У математичному формулюванні стану відповідає деяка функція Ψ , або вектор стану, яка відповідає певному вимірюванню. В термінах цих об'єктів формулюються всі твердження квантової механіки. Явний вигляд функції залежить від природи системи та умов, у яких вона знаходиться. Функція є розв'язком квантового рівняння руху. Отримання квантових рівнянь називають квантуванням. Формально це є певний спосіб уведення сталої Планка у відомі класичні рівняння руху. Справедливість квантових рівнянь перевіряється порівнянням з експериментами. Останнє є необхідним, оскільки мова йде про принципово нові явища і фізичні процеси, де потрібно враховувати факт існування кванту дії. Основним об'єктом динамічної теорії стає перехід квантової системи у заданому стані до нового її стану у будь-який інший момент часу. Тобто, необхідно визначити стан системи $\Psi(t)$, знаючи початкове значення $\Psi(t_0)$. Еволюцію у часі представляють у вигляді $\Psi(t) = S(t, t_0)\Psi(t_0)$, де $S(t, t_0)$ називається оператором еволюції. Його знаходження становить основну задачу теорії, незалежно від конкретного формулювання, про які йшла мова вище.

Для того, щоб зрозуміти постановку задач квантової механіки та їх розв'язання, розглянемо основний конструктивний принцип – принцип суперпозиції станів. Саме завдяки цьому принципу існує можливість встановлення зв'язків між різними станами. Важливо, що це стосується також станів, які утворилися в результаті вимірювання різних несумісних між собою повних наборів фізичних величин. Це відрізняється від принципу суперпозиції, відомого в класичній фізиці.

Перш ніж розглянути це питання, нагадаємо принцип суперпозиції у класичній фізиці, розглядаючи приклад хвиль у середовищі. Хвилею називають перенесення певного стану руху середовища у просторі із плином часу, яке здійснюється за рахунок зв'язку елементів середовища. У більшості випадків мова йде про коливання точок середовища та перенесення цих коливань. У кожній точці простору коливання характеризується амплітудою та частотою. Хвиля, як відомо, характеризується амплітудою, частотою та довжиною. Якщо в деяку точку r_j ($j=1,2,3$) приходять хвилі, то відбувається їх інтерференція, накладання, в результаті чого утворюється новий стан середовища, який характеризується у кожній точці новою амплітудою та частотою. Формально це можна записати так:

$$A(t, r_j) = \sum_k A_k(t, r_j), \quad (2)$$

де підсумовування ведеться за всіма хвилями з амплітудами $A_k(t, r_j)$. При цьому (якщо розглядати випадок двох хвиль) амплітуда результуючої хвилі A набуває значення в інтервалі $|A_1 - A_2| < A < |A_1 + A_2|$. Також змінюється частота коливань окремих точок середовища та довжина хвиль, що виникають в результаті інтерференції. Підкреслимо, що виникають нові стани середовища.

Перейдемо до уявлень суперпозиції квантових станів. Основне твердження полягає в тому, що будь-який квантовий стан $\Psi(t, r_j)$ можна подати як суперпозицію станів $\Psi_k(t, r_j)$, які відповідають певному повному набору фізичних величин $\{k\}$ з деякими коефіцієнтами C_k :

$$\Psi(t, r_j) = \sum_k C_k \Psi_k(t, r_j). \quad (3)$$

Це є основний постулат теорії, який потрібно розглядати як узагальнення всіх існуючих експериментальних даних. Зокрема, він означає, що у правій частині (3) можуть використовуватися набори станів (хвильові функції), що відповідають фізичним умовам вимірювання, які є несумісними. При цьому, на відміну від (2), при вимірюваннях фізичних величин із деякого набору $\{k\}$ будуть отримуватися тільки значення із даного набору. Жодні проміжні або додаткові значення не виключаються повністю. При цьому невідомим залишається тільки конкретне значення, яке буде отримане в експерименті. Про нього можливо давати тільки ймовірнісне передбачення [3, 5]. Останнє визначається за коефіцієнтами C_k .

Іншими словами, стверджується, що при вимірюваннях фізичних величин із повного набору $\{k\}$ у будь-якому стані $\Psi(t, r_j)$ будуть отримані виключно ті значення, які відповідають певній фізичній величині, що виникає у макроумовах $\{k\}$. У такий спосіб встановлюється зв'язок між квантовими станами, що виникають у довільних макроумовах, навіть тих, які є фізично несумісними, тобто взаємовиключними за процедурами вимірювання. Отже, розв'язується основна задача теорії – передбачити всі можливі результати вимірювань у будь-якому стані та ймовірності, з якими вони реалізуються.

Як висновок впливає, що важливим поняттям і математичним об'єктом квантової теорії є хвильова функція, яка слугує для опису станів у формулюванні Шредінгера. Сучасне розуміння хвильової функції, розроблене Володимиром Фоком, зводиться до наступного твердження: «Призначення основного в квантовій механіці поняття – поняття стану, що описується хвильовою функцією, – полягає в об'єктивному описі всіх потенційних можливостей, притаманних мікрооб'єкту. Цим визначається і ймовірнісний характер теорії» [1, с. 95].

Для більш детального пояснення цього положення наведемо приклад. Приймемо, що початкові стани відповідають вимірюванню повного набору певних фізичних величин. При повторному вимірюванні у таких станах величин із цього ж набору будуть отримані ті ж самі значення фізичних величин, що були зафіксовані при створенні стану. Кінцеві ж стани можуть бути будь-якими, зокрема, відповідати макроумовам, що не сумісні з початковим повним набором. Знання хвильової функції дозволяє згідно (3) передбачити всі результати наступних вимірювань та їх ймовірностей. При цьому перехід між різними станами задається так званою амплітудою переходу. Остання, згідно з основним положенням квантової механіки, і є математичним об'єктом, який зв'язує обидва стани.

4. Принцип причинності

Перейдемо тепер до динаміки станів — принципу причинності. Він полягає в можливості опису системи, заданої в початковий момент t_0 , у будь-який наступний момент часу t . У класичній фізиці, в залежності від конкретного підходу до опису (рівняння Ньютона, рівняння Лагранжа, рівняння Гамільтона), мова йде про визначення певних значень динамічних змінних, наприклад, координат та імпульсів системи, у термінах яких описується рух і задається стан системи. В квантовій теорії, де стани задаються хвильовими функціями, мова повинна йти про еволюцію у часі саме цих об'єктів. Тобто, принцип причинності реалізується через рівняння руху для хвильових функцій. Значення ж фізичних величин (їх спектр), які можуть бути отриманими при вимірюваннях у будь-який момент часу, фіксуються умовами експериментів (макроумовами руху) та властивостями самої системи. Конкретне значення, що буде отримане, визначається його ймовірністю за коефіцієнтами $C_k(t)$, як це описано вище. Отже, значення фізичних величин не мають безпосереднього відношення до принципу причинності. В цьому полягає основна різниця між принципом причинності в класичній і квантовій фізиці.

У різних формулюваннях квантової механіки можливі відмінні форми принципу причинності. Це пов'язано з уявленням про амплітуду переходу. Не заглиблюючись у математичні аспекти питання, відмітимо наступне. Як було сказано вище, перехід від початкового стану до кінцевого може бути поданий за допомогою оператора еволюції $\Psi(t) = S(t, t_0)\Psi(t_0)$. Тоді амплітуда переходу між різними станами, наприклад, l і k , може бути задана у вигляді деякого скалярного добутку векторів станів $A_{\{kl\}} = (\Psi_k(t_0), \Psi_l(t)) = (\Psi_k(t_0), S(t, t_0)\Psi_l(t_0))$, де тепер вся інформація про еволюцію в часі перенесена на оператор $S(t, t_0)$. Для нього, власне, і потрібно сформулювати рівняння руху. Саме таким уявленням відповідають інтеграли за траєкторіями. Можливі математичні представлення для амплітуди переходу враховують різні властивості системи. Вибір їх залежить також від конкретної постановки задач у теорії. Основним висновком є те, що, на відміну від класичної фізики, принцип причинності в квантовій механіці формулюється для певних математичних об'єктів, що не відповідають безпосередньо величинам, які

вимірюються. У такий спосіб вдається встановити динамічні закономірності в умовах відсутності траєкторій руху. Останнє, як про це говорилося багато разів вище, призводить до необхідності зміни постановки задачі у квантовій теорії.

Висновки. Отже, в даній роботі ми розглянули основні методологічні питання щодо визначення поняття стану квантової системи. Поняття стану системи – це основне фізичне поняття, яке виражає факт можливості визначення експериментальним шляхом ряду динамічних змінних, що дозволяють встановити характер її руху в просторі й часі, а також можливі взаємодії з іншими об'єктами. Більш детальний зміст поняття залежить від природи системи та від того, яким закономірностям – класичним чи квантовим – вона підпорядковується. В статті докладно розглянуто роль співвідношень невизначеностей Гейзенберга при формуванні поняття стану квантового об'єкта. Стан виникає як результат взаємодії об'єкта при його рухах в різноманітних макроскопічних умовах. Проведено порівняння понять класичної і квантової суперпозиції станів системи та наведено відповідні приклади.

Список використаних джерел

1. Фок В.А. Начала квантовой механики / В.А. Фок. – М.: Наука. – 1976. – 376 с.
2. Фок В.А. Квантовая физика и строение атома / В.А. Фок. – Л.: ЛГУ. – 1965. – 72 с.
3. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики / Д.И. Блохинцев. – М.: Наука. – 1976. – 664 с.
4. Паули В. Общие принципы волновой механики. – В кн.: Труды по квантовой теории / В. Паули. – М.: Наука. – 1975. – С. 352 – 569.
5. Ландау Л.Д. Квантовая механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука. – 1974. – 752 с.
6. Юхновський І.Р. Основы квантової механіки / І.Р. Юхновський. – К.: Либідь, 2002. – 390 с.
7. Давыдов А.С. Квантовая механика / А.С. Давыдов. – М.: Наука, 1973. – 704 с.
8. Вакарчук І.О. Квантова механіка / І.О. Вакарчук. – Л.: Львів. нац. ун-т ім. І. Франка, 2004. – 784 с.

References

1. Fock V.A. Elements of Quantum Mechanics / V.A. Fock. – M.: Nauka. – 1976. – 376 p. (in Russian)
2. Fock V.A. Quantum Physics and Atomic Structure / V.A. Fock. – L.: LGU. – 1965. – 72 p. (in Russian)
3. Blokhintsev D.I. Fundamentals of Quantum Mechanics / D.I. Blokhintsev. – M.: Nauka. – 1976. – 664 p. (in Russian)
4. Pauli W. General Principles of Wave Mechanics. – In book: Collection of Scientific Papers on Quantum Theory / W. Pauli. – M.: Nauka. – 1975. – С. 352 – 569. (in Russian)
5. Landau L.D. Quantum Mechanics / L.D. Landau, E.M. Lifshitz. – M.: Nauka. – 1974. – 752 p. (in Russian)
6. Yuhnovskii I.R. Fundamentals of Quantum Mechanics / I.R. Yuhnovskii. – K.: Lybid, 2002. – 390 p. (in Ukrainian)
7. Davydov A.S. Quantum Mechanics / A.S. Davydov. – M.: Nauka, 1973. – 704 p. (in Russian)
8. Vakarchuk I.O. Quantum Mechanics / I.O. Vakarchuk. – L.: Ivan Franko Lviv National University, 2004. – 784 p. (in Ukrainian)

METHODOLOGICAL ASPECTS OF STATE DESCRIPTION FOR QUANTUM SYSTEMS

Vladimir Skalozub, Andrii Turinov

Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine

Abstract. *Modern physics is quantum physics, the object of whose study is the laws of the microcosm through the description of the motion of microparticles. Systematization of knowledge in this discipline, as well as the formation of the modern scientific Outlook among the students of physical specialities is determined by the level of assimilation of fundamental physical laws, theories and principles. Therefore, in methodological aspect is very important correct the students' understanding of basic physical concepts, e.g. the concept of States of quantum systems. In this article, on the basis of definition of physical quantities as measurable properties of matter are analyzed and compared, the concept of system state in classical and quantum physics. Discusses the role of the uncertainty relations of Heisenberg in the formation of the concept of the state of the quantum object. The condition occurs as the result of interaction of the object when it movements in different macroscopic conditions. A comparison of the concepts of classical and quantum superposition of States of the system. Examples are given to clarify the provisions being discussed. It is emphasized that the notion of States of a quantum system described by the wave function is an objective description of all potential possibilities inherent in the micro-object.*

Key words: *quantum mechanics, dynamic variables, classical and quantum systems, Heisenberg uncertainty relation, superposition of states, causality principle.*