КВА́НТОВА ФІ́ЗИКА — галузь фізики, яка вивчає явища, пов'язані з поглинанням і випромінюванням енергії дискретними порціями (квантами). Квантові явища виникають тоді, коли дія фізичної системи має порядок або менша за сталу Планка $h = 6{,}626\times10^{-34}$ Дж·сек. (її також називають квантом дії; увів 1900 німецький фізик М. Планк). Часто використовують редуковану сталу Планка $\hbar = h/2\varpi = 1{,}054\times10^{-34}$ Дж·сек. У випадку, коли дія системи набагато більша за сталу Планка, К. ф. переходить у класичну фізику.

Характерні положення, які відділяють К. ф. від класичної: квантування, тобто дискретизація деяких фізичних величин, наприклад, енергії, моменту кількості руху та ін.; корпускулярно-хвильовий дуалізм, тобто принцип, згідно з яким об'єкти мікросвіту мають одночасно властивості частинки та хвилі; принцип суперпозиції, який вказує на те, що фізична система може одночасно існувати в усіх її квантових станах, причому в результаті вимірювання розрізняється один із цих станів, а математично це означає, що якщо фізична система існує, наприклад, у станах, яким відповідають хвильові функції $|\psi_1\rangle$ та $|\psi_2\rangle$, то вона може також існувати у стані, якому відповідає хвильова функція $\alpha|\psi_1\rangle + \beta|\psi_2\rangle$, де α і β — довільні комплексні числа; принцип невизначеності, який стверджує, що низка фізичних величин апріорі не можуть бути одночасно виміряні з довільною точністю, зокрема точність Δp та Δx одночасного вимірювання імпульсу та координати частинки обмежені умовою $\Delta x\Delta p \geq \hbar/2$; принцип нерозрізнюваності частинок, який полягає в тому, що частинки одного сорту (електрони, фотони, протони, нейтрони та ін.) не можна жодним чином відрізнити одну від одної (з цього витікає принцип, сформульований 1925 швейцарським фізиком В. Паулі, — в одному квантовому стані не можуть одночасно перебувати 2 ферміони — частинки, спін яких дорівнює півцілому числу $\hbar$).

К. ф. лежить в основі сучасних уявлень про будову речовини та застосовується практично в усіх розділах сучасної фізики — атомній фізиці, *молекулярній фізиці*, *ядерній фізиці*, *фізиці елементарних частинок*, статистичній фізиці, *фізиці конденсованого стану*, *фізиці твердого тіла*, *оптиці*, *нанофізиці*. Відіграє також значну роль у астрофізиці, зокрема відповідає за процеси горіння зірок, природу таких астрофізичних утворень, як нейтронні зірки, білі карлики тощо. У сучасній хімії (див. Квантова хімія) вона дає змогу розраховувати з високою точністю розташування атомів у молекулах, теплоту хімічних реакцій, енергію основного стану молекул, визначити направленість хімічних зв'язків.

К. ф. лежить в основі низки найважливіших технічних досягнень 20 та поч. 21 ст. — ядерної енергетики (див. Атомна енергетика), напівпровідникової техніки, квантової електроніки, створенні потужних носіїв інформації, нових матеріалів. У останні роки широко обговорюють можливості створення квантових комп'ютерів — принципово нових обчислювальних пристроїв, які б працювали на основі квантових законів. Хоча найбільше квантові явища проявляються у мікросистемах, проте при деяких умовах вони спостерігаються й в макросистемах. До останніх можна віднести явища надпровідності, надплинності та ін. Для опису квантових явищ використовують апарат квантової механіки та квантової теорії поля. Історія становлення та розвитку К. ф. починається 1900, коли М. Планк розробив квантову теорію теплового випромінювання світла. Наявна до цього часу теорія, яка ґрунтувалася на положеннях класичної електродинаміки та статистичної фізики, призводила до так званої ультрафіолетової катастрофи (полягає в тому, що спектральна густина потужності випромінювання необмежено зростає, коли довжина хвилі необмежено зменшується).

М. Планк висунув гіпотезу, що, на відміну від класичного положення, енергія випромінюється та поглинається атомами не безперервно, а квантовими порціями, причому енергія останніх пропорційна частоті випромінювання $E = h\nu$. 1905 для пояснення законів фотоефекту німецький та американський фізик А. Айнштайн розвинув цю гіпотезу. Він зробив припущення, що незважаючи на те, що в багатьох експериментах світло проявляє властивості хвилі, при деяких обставинах (наприклад, в явищі фотоефекту — вибиванні світлом електронів з атомів) саме світло також слід розглядати як потік корпускул (одержали назву «фотони»). Тим самим А. Айнштайн висунув гіпотезу про корпускулярно-хвильову природу світла. 1923 її у своїх дослідах із розсіяння рентгенівських променів на електронах експериментально підтвердив американський фізик А.-Г. Комптон. Того ж року французький фізик Л. де Бройль зробив припущення, що усім мікрочастинкам притаманні також властивості хвилі, та встановив, що довжина хвилі λ для частинки, яка має імпульс p, визначається залежністю $\lambda = h/p$ (ці хвилі були названі його ім'ям). Частоту хвилі де Бройля розраховують через енергію E частинки $\nu = E/h$.

1927 американські фізики К.-Дж. Девіссон і Л. Джермер спостерігали явище дифракції електронів, відбитих від кристалу нікелю, чим експериментально довели існування хвиль де Бройля. Пізніше різноманітні явища дифракції та інтерференції для багатьох

мікрочастинок (нейтронів, атомів та ін.) спостерігалися в різних лабораторіях світу. 1913 данський фізик Н.-Г. Бор, розвиваючи ідею Планка, постулював існування квантування електронних орбіт і тим самим квантування енергії в атомах. При переходах атома з одного квантового рівня на інший випромінюється або поглинається квант світла, частота якого виражається через різницю енергетичних рівнів $\nu = (E_1 - E_2)/h$. Ця теорія дозволила пояснити існування лінійчастого спектра, що є основною особливістю атомних спектрів. Експериментально існування дискретних енергетичних рівнів в атомі підтвердили 1914 німецькі фізики Дж. Франк і Г. Герц. Власне, енергетичні рівні розраховують на основі рівняння Шредінґера, одного з головних рівнянь квантової механіки (названо на честь австрійського фізика Е. Шредінґера, який сформулював його 1926).

Здобутки К. ф. важливі для пояснення властивостей твердих тіл. Так, 1907 А. Айнштайн встановив, що залежність теплоємності твердих тіл від температури пов'язана з квантовою природою коливань кристалічної ґратки. 1912 німецький та американський фізик П. Дебай удосконалив квантову теорію теплоємності, внаслідок чого кількісним методом було описано наявні експериментальні дані. Квантовий підхід до опису поведінки електрона в кристалічній ґратці уможливив пояснити, чому тверді тіла діляться на метали, діелектрики та напівпровідники, а також низку інших властивостей твердих тіл.

Одним із явищ К. ф., якому немає аналога у класичній фізиці, є тунельний ефект, який полягає в тому, що квантовий об'єкт може подолати потенційний бар'єр, величина якого перевищує кінетичну енергію самого об'єкта. Яскравий приклад цього явища — α-розпад ядер, теорію якого 1928 розробив український та американський вчений Дж. Ґамов. Тунельний ефект також лежить в основі таких явищ, як спонтанний поділ ядер, термоядерний синтез, його застосовують в роботі тунельного мікроскопа, розрядженні елементів флеш-пам'яті тощо. Поєднання квантової механіки та спеціальної теорії відносності дозволило значно розширити можливості квантової теорії. Проте повністю провести таке об'єднання вдалося лише в рамках квантової теорії поля, яка вимагає квантування полів. Першою закінченою квантовою теорією поля була квантова електродинаміка. На основі квантової калібрувальної теорії вдалося об'єднати електромагнітні та слабкі взаємодії в одну теорію (слабоелектродинаміка), головні передбачення якої були повністю підтверджені експериментально, зокрема доведено існування W- та Z-бозонів — носіїв слабких взаємодій. Квантова теорія сильних (ядерних) взаємодій формулюється на основі квантової хромодинаміки — квантової теорії поля для кварків та глюонів, з яких складаються протони, нейтрони та ін. сильно взаємодіючі частинки. Нині вчені намагаються об'єднати слабоелектродинаміку з квантовою хромодинамікою.

Рекомендована література

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. 3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. Москва, 1974;
2. Федорченко А. М. Теоретична фізика. Квантова механіка, термодинаміка і статистична фізика. Т. 2. К., 1993;
3. Любимов А., Киш Д. Введение в экспериментальную физику частиц. Москва, 2001;
4. Юхновський І. Р. Основи квантової механіки. К., 2002;
5. Пінкевич І. П., Сугаков В. Й. Теорія твердого тіла. К., 2006;
6. Білий М. У., Охрименко Б. А. Атомна фізика. К., 2009;
7. Давидов О. С. Квантова механіка. Л., 2012.

О. П. Кобушкін

Бібліографічний опис:
Квантова фізика / О. П. Кобушкін // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. — К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2012. — Режим доступу: https://esu.com.ua/article-11533

2001-2025 © Ця енциклопедична стаття захищена авторським правом згідно з чинним законодавством України (докладніше).