



КВАНТОВА ЕЛЕКТРОДИНАМІКА — розділ релятивістської **квантової теорії поля**, що вивчає електромагнітне поле та його взаємодію з речовиною як поглинання та випромінювання квантів (фотонів). К. е. об'єднує квант. теорію електромагніт. взаємодій зі спец. теорією відносності. Часто у більш вузькому сенсі під К. е. розуміють релятивіст. квант. теорію взаємодії електромагніт. поля з діраковським полем точкових діраковських частинок (електронів, позитронів, мюонів, антимюонів, кварків). За сучас. поглядами К. е. — це частина єдиної теорії слабоелектромагніт. взаємодій. К. е. вдалося пояснити низку проблем, які не могла пояснити класична електродинаміка Максвелла — теплове випромінювання тіл, випромінювання та поглинання світла атомами, ефект Комптона, гальмівне випромінювання світла тощо. Важливим параметром К. е., що визначає інтенсивність взаємодії зарядженої частинки з електромагніт. полем, є стала тонкої структури. Остання у системі СІ визначається як,

$$\alpha = \frac{e^2}{2\epsilon_0 \hbar c} \approx \frac{1}{137},$$

де e — елементар. електр. заряд, $\hbar$ — стала Планка, c — швидкість світла у вакуумі та ϵ_0 — діелектр. проникливість вакууму. Завдяки тому, що $\alpha \ll 1$. Боголюбов та О. Парасюк. У зв'язку з тим, що на експерименті вимірюють масу та заряд «одягненого» електрона, процедура перенормування не призводить до протиріч. Окрім ультрафіолет. розбіжностей, радіац. поправки містять також інфрачервоні розбіжності, які пов'язані із довготривалим характером електромагніт. взаємодій. Їхнє усунення відбувається за рахунок скорочення з розбіжностями, що виникають під час дії (внеску) т. зв. м'яких фотонів, які завжди присутні у процесі реєстрації частинок через кінцеву роздільну здатність фіз. приладів, що фіксують частинки. Важливим результатом наук. дослідж. у галузі К. е. є доведення того, що фіз. вакуум не є пустотою. У ньому відбуваються флюктуації, пов'язані з народженням та знищенням частинок і античастинок (народження та знищення електрон-позитрон. пар, флюктуації фотонів тощо). Це призводить до низки ефектів, які неможливі у рамках класич. електродинаміки Максвелла. Типовими прикладами ефектів, що виникають завдяки флюктуаціям у фіз. вакуумі, є аномал. магніт. момент електрона (відхилення значення магніт. моменту електрона від значення, яке дається релятивіст. квантово-мех. рівнянням Дірака), лембівський зсув рівнів у атомі водню тощо. Цікавий ефект, пов'язаний з флюктуаціями електрон-позитрон. пар у фіз. вакуумі, — розсіяння світла на світлі — передбачили фізики В. Гайзенберг, Л. Ейлер, О. Ахієзер, Л. Ландау та І.

Померанчук. Особливим випадком розсіяння світла на світлі є т. зв. дельбрюківське розсіяння, тобто процес когерент. розсіяння світла на кулонів. полі ядра. Теоретично це явище розглянуто 1933 амер. вченим М. Дельбрюком і було пізніше підтверджене в експерименті. Прикладом ефектів, пов'язаних з проявом флюктуацій фотонів у фіз. вакуумі, є ефект Казимира (виникнення взаємодії між двома метал. пластинами у вакуумі) — коли відстань між дзеркал. пластинами стає досить малою, збільшується частина віртуал. фотонів з довжинами хвиль, які відповідають умовам резонансу. Відповідно зменшується число фотонів з довжинами хвиль, що не відповідають цим умовам. У результаті тиск на пластини зовн. фотонів стає більшим за тиск фотонів, які знаходяться між пластинами, і останні починають притягуватися. Теоретично цей ефект передбачений 1948 нідерланд. науковцями Г. Казимиром та Д. Польтером і експериментально підтверджений 1958. Виконані у рамках вищих порядків теорії збурень у К. е. розрахунки ефектів взаємодії електронів підтверджені експериментально. Так, розрахунок аномал. магніт. моменту електрона має рекордний у фізиці рівень точності $\sim 10^{-10}$. Розрахунок лембівського зсуву також має досить велику точність ($\sim 10^{-7}$), але подальше зростання точності обмежено ефектами сильних взаємодій, зокрема прийняттям до уваги кінцевих розмірів протона. Відповідні розрахунки для мюона мають теж високу точність, проте вона дещо нижча за точність відповід. розрахунків для електронів. Розрахунок електромагніт. взаємодій для адронів та ядер (напр., розсіяння електронів на протонах, нейтронах, ядрах) має принцип. обмеження (ці системи, на відміну від електронів та мюонів, мають складну внутр. структуру, зумовлену сильними взаємодіями). Тому для опису таких процесів виходять із заг. коваріант. структури електромагніт. взаємодії з цими частинками, а внутр. структуру останніх описують за допомогою форм-факторів, які частково можна розглядати як феноменолог. опис розподілу електр. заряду, магніт. моменту, квадрупольного моменту тощо (їх, як правило, беруть з експерименту чи теор. оцінок).

Рекомендована література

1. Ахієзер А. И., Рекало М. П. Электродинамика адронов. К., 1977;
2. Ахієзер А. И., Берестецкий В. Б. Квантовая электродинамика. Москва, 1981;
3. Фейнман Р. КЭД – странная теория света и вещества. Москва, 1988;
4. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая

электродинамика // Теоретическая физика. Т. 4.
Москва, 2006;

квантованих полів. К., 2007.

5. Ребенко О. Л. Основы сучасної теорії взаємодіючих

О. П. Кобушкін

Бібліографічний опис:

Квантова електродинаміка / 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-11524>

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