

речь необходимым условиям симметрии, соответствующим, напр., определ. значениям орбитального момента атома. Для самих же одночастичных ф-ций в результате минимизации энергии получается нелинейное ур-ние типа ур-ния Шрёдингера с потенциалом, зависящим от самих волновых ф-ций. Можно сказать, что электрон движется в самосогласованном поле, определяемом всеми остальными электронами. В отличие от уравнения Томаса — Ферми, для этого потенциала, однако, не предполагается применимость *квазиклассического приближения*.

Большие успехи достигнуты при исследовании электронных свойств металлов. Наиб. интерес представляет расчёт энергетич. спектров электронов в зоне проводимости. Важную роль здесь играет метод псевдопотенциала (см. *Зонная теория*). В простейшем варианте этого метода волновые ф-ции электронов заполненных зон принимаются равными волновым ф-циям свободных ионов, а волновые ф-ции электронов в зоне проводимости выбираются в виде линейной комбинации плоских волн и волновых ф-ций заполненных оболочек так, чтобы эти комбинации были ортогональны к волновым ф-циям заполненных оболочек. В результате задача сводится к ур-нию типа ур-ния Шрёдингера, в к-ром, однако, вместо потенциала стоит линейная комбинация обычного самосогласованного потенциала и нек-рого связанного с упомянутой ортогонализацией выражения, зависящего от энергии состояния и волновых ф-ций электронов в ионах. Эту сумму и наз. псевдопотенциалом. Он оказывается относительно малым из-за компенсации указанных двух членов, так что ур-ние можно решать по теории возмущений. Это позволяет получить весьма полную информацию о свойствах конкретных металлов. В частности, малость псевдопотенциала позволила объяснить известную эмпирически близость мн. наблюдаемых свойств электронов в металлах к свойствам невзаимодействующих электронов.

Лит.: Гомбаш П., Проблема многих частиц в квантовой механике, пер. с нем., М., 1952; Абрикосов А. А., Горьков Л. П., Дзялошинский И. Е., Методы квантовой теории поля в статистической физике, М., 1962; Харрисон У., Псевдопотенциалы в теории металлов, пер. с англ., М., 1968; Марч Н., Янг У., Сампантхар С., Проблема многих тел в квантовой механике, пер. с англ., М., 1969; Займан Д. Ж., Современная квантовая теория, пер. с англ., М., 1971; Липшиц Г., Квантовая механика, пер. с англ., М., 1977; Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П., Статистическая физика, ч. 2, М., 1978. Л. П. Питаевский.

КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЯ.

Содержание:

1. Квантовые поля	300
2. Свободные поля и корпускулярно-волновой дуализм	301
3. Взаимодействие полей	302
4. Теория возмущений	303
5. Расходимости и перенормировки	304
6. УФ-асимптотики и ренормгруппа	304
7. Калибровочные поля	305
8. Общая картина	307
9. Перспективы и проблемы	307

Квантовая теория поля (КТП) — квантовая теория релятивистских систем с бесконечно большим числом степеней свободы (релятивистских полей), являющаяся теоретич. основой описания микрочастиц, их взаимодействий и взаимопревращений.

1. Квантовые поля

Квантовое (иначе — квантованное) поле представляет собой своеобразный синтез понятий классич. поля типа электромагнитного и поля вероятностей квантовой механики. По совр. представлениям, квантовое поле является наиболее фундаментальной и универсальной формой материи, лежащей в основе всех её конкретных проявлений.

Представление о классич. поле возникло в недрах теории электромагнетизма Фарадея — Максвелла и окончательно выкристаллизовалось в процессе создания

спец. теории относительности, потребовавшей отказа от *эфира* как материального носителя эл.-магн. процессов. При этом поле пришлось считать не формой движения к.-л. среды, а специфич. формой материи с весьма непривычными свойствами. В отличие от частиц, классич. поле непрерывно создаётся и уничтожается (испускается и поглощается зарядами), обладает бесконечным числом степеней свободы и не локализуется в определ. точках пространства-времени, но может распространяться в нём, передавая сигнал (взаимодействие) от одной частицы к другой с конечной скоростью, не превосходящей скорости света с.

Возникновение квантовых идей привело к пересмотру классич. представлений о непрерывности механизма испускания и поглощения света и к выводу, что эти процессы происходят дискретно — путём испускания и поглощения квантов эл.-магн. поля — фотонов. Возникшую противоречивую с точки зрения классич. физики картину, когда с эл.-магн. полем сопоставлялись фотоны и одни явления поддавались интерпретации лишь в терминах волн, а другие — только с помощью представления о квантах, называли *корпускулярно-волновым дуализмом*. Это противоречие разрешилось последоват. применением к полю идеи квантовой механики. Динамич. переменные эл.-магн. поля — потенциалы A, ϕ и напряжённости электрич. и магн. поля E, H — стали квантовыми *операторами*, подчиняющимися определ. *перестановочным соотношениям* и действующими на волновую ф-цию (амплитуду, или *вектор состояния*) системы. Тем самым возник новый физ. объект — квантовое поле, удовлетворяющее ур-ниям классич. электродинамики, но имеющие своим значениями квантовомеханич. операторы.

Вторым истоком общего понятия квантового поля явилась волновая ф-ция частицы $\psi(x, t)$, к-рая является не самостоятельной физ. величиной, а амплитудой состояния частицы: вероятности любых, относящихся к частице физ. величин выражаются через билнейные по ψ выражения. Т. о., в квантовой механике с каждой материальной частицей оказалось связано новое поле — поле амплитуд вероятностей.

Релятивистское обобщение ψ -ф-ции привело П. А. М. Дирака (P. A. M. Dirac) к четырёхкомпонентной волновой ф-ции электрона ψ_α ($\alpha = 1, 2, 3, 4$), преобразующейся по спинорному представлению *Лоренца группы*. Вскоре было осознано, что и вообще каждой отд. релятивистской микрочастице следует соотнести локальное поле, осуществляющее нек-рое представление группы Лоренца и имеющее физ. смысл амплитуды вероятности. Обобщение на случай мн. частиц показало, что если они удовлетворяют принципу неразличимости (*тождественности принципу*), то для описания всех частиц достаточно одного поля в четырёхмерном пространстве-времени, являющегося оператором в смысле квантовой механики. Это достигается переходом к новому квантовомеханич. представлению — представлению чисел заполнения (или представлению *вторичного квантования*).

Вводимое таким путём операторное поле оказывается совершенно аналогичным квантованному эл.-магн. полю, отличаясь от него лишь выбором представления группы Лоренца и, возможно, способом квантования. Подобно эл.-магн. полю, одно такое поле соответствует всей совокупности тождественных частиц данного сорта, напр. одно операторное *Дирака поле* описывает все электроны (и позитроны!) Вселенной.

Так возникает универсальная картина единообразного строения всей материи. На смену полям и частицам классич. физики приходят единые физ. объекты — квантовые поля в четырёхмерном пространстве-времени, по одному для каждого сорта частиц или (классич.) полей. Элементарным актом всякого взаимодействия становится взаимодействие неск. полей в одной точке пространства-времени, или — на корпускулярном языке — локальное и мгновенное превращение одних частиц в другие. Классич. же взаимодействие в виде сил,