

Успешные исследования были выполнены с помощью численного вычисления на ЭВМ функциональных интегралов, приближённо представленных в виде повторных интегралов высокой кратности. Для такого представления вводят дискретную решётку в исходном пространстве конфигурационных или импульсных переменных. Подобные, как их называют, «вычисления на решётке» для реалистич. моделей требуют использования ЭВМ особо большой мощности, вследствие чего они только начинают становиться доступными. Здесь, в частности, методом Монте-Карло был проведён надёжный расчёт масс и аномальных магн. моментов адронов на основе квантовохромодинамич. представлений (см. *Решётки метод*).

8. Общая картина

Развитие новых представлений о мире частиц и их взаимодействий всё более выявляет две осн. тенденции. Это, во-первых, постепенный переход ко всё более опосредствованным концепциям и всё менее наглядным образом: локальная калибровочная симметрия, императив перенормируемости, представление о нарушенных симметриях, а также о спонтанном нарушении симметрии, кварки и глюоны вместо реально наблюдаемых адронов, ненаблюдаемое квантовое число цвет и т. п.

Во-вторых, наряду с усложнением арсенала используемых приёмов и понятий наблюдается несомненное проявление черт единства принципов, лежащих в основе явлений, казалось бы, весьма далёких друг от друга, и как следствие этого, значит. упрощение общей картины. Три осн. взаимодействия, изучаемых с помощью методов КТП, получили параллельную формулировку, основанную на принципе локальной калибровочной инвариантности. Связанное с этим свойство перенормируемости даёт возможность количеств. расчёта эффектов эл.-магн., слабого и сильного взаимодействий методом теории возмущений. (Поскольку гравитационное взаимодействие также может быть сформулировано на основе этого принципа, то он, вероятно, является универсальным.)

С практич. точки зрения вычисления по теории возмущений уже давно зарекомендовали себя в КЭД (напр., степень соответствия теории эксперименту для аномального магнитного момента электрона Δa составляет $\Delta a/\mu_0 \sim 10^{-10}$, где μ_0 — магнетон Бора). В теории электрослабого взаимодействия такие расчёты также оказались обладающими замечательной предсказат. силой (напр., были правильно предсказаны массы W^\pm - и Z^0 -бозонов). Наконец, в КХД в области достаточно высоких энергий и передач 4-импульса Q ($|Q|^2 \geq 100 \text{ ГэВ}^2$) на основе перенормируемой теории возмущений, усиленной методом ренормализации, группы, удаётся количественно описать широкий круг явлений физики адронов. В силу недостаточной малости параметра разложения: $\bar{\alpha}_s \sim 0,2$, точность расчётов здесь не очень высока.

В целом можно сказать, что, вопреки пессимизму кон. 50-х гг., метод перенормированной теории возмущений оказался плодотворным, по крайней мере для трёх из четырёх фундам. взаимодействий.

В то же время следует отметить, что наиб. существенный прогресс, достигнутый в основном в 60—80-х гг., относится именно к пониманию механизма взаимодействия полей (и частиц). Успехи в наблюдении свойств частиц и резонансных состояний дали обильный материал, к-рый привёл к обнаружению новых квантовых чисел (странности, очарования и т. п.) и к построению отвечающих им т. п. нарушенных симметрий и соответствующих систематик частиц. Это, в свою очередь, дало толчок поискам субструктуры многочисл. адронов и в конечном счёте — созданию КХД. В итоге такие «элементарные частицы 50-х гг.», как нуклоны и пионы, перестали быть элементарными и появилась возможность определения их свойств (значений масс, аномаль-

ных магн. моментов и т. д.) через свойства кварков и параметры кварк-глюонного взаимодействия.

Иллюстрацией этому служит, напр., степень нарушения изотопич. симметрии, проявляющейся в разности масс ΔM заряд. и нейтральных мезонов и барионов в одном изотопич. мультиплете (напр., p и n ; K^+ и K^0 , K^- и \bar{K}^0). Взамен первоначального, с совр. точки зрения наивного, представления о том, что эта разность (в силу численного соотношения $\Delta M/M \sim \alpha$) имеет эл.-магн. происхождение, пришло убеждение, что она обусловлена разностью масс u - и d -кварков. Однако даже в случае успеха количеств. реализации этой идеи вопрос не решается полностью — он лишь отодвигается вглубь с уровня адронов на уровень кварков. Подобным же образом трансформируется формулировка старой загадки мюона: «Зачем нужен мюон и почему он, будучи аналогичен электрону, в двести раз его тяжелее?». Этот вопрос, перенесённый на кварк-лептонный уровень, приобрёл большую общность и относится уже не к паре, а к трём поколениям фермионов, однако не изменил своей сущности.

9. Перспективы и проблемы

Большие надежды возлагались на программу т. н. *великого объединения* взаимодействий — объединения сильного взаимодействия КХД с электрослабым взаимодействием при энергиях порядка 10^{15} ГэВ и выше. Отправной точкой здесь является (теоретическое) наблюдение того факта, что экстраполяция в область сверхвысоких энергий ф-лы (17) асимптотич. свободы из хромодинамич. константы связи $\bar{\alpha}_s$ и ф-лы типа (16) для инвариантного заряда $\bar{\alpha}$ КЭД приводит к тому, что эти величины при энергиях порядка $|Q| = M_X \sim 10^{15} \pm 1$ ГэВ сравниваются друг с другом. Соответствующие значения (а также значение второго заряда теории электрослабого взаимодействия $\bar{\alpha}_2$) оказываются равными $\bar{\alpha}_i (M_X^2) \sim 1/40$. Фундам. физ. гипотеза состоит в том, что это совпадение не является случайным: в области энергий, больших M_X , имеется некая высшая симметрия, описываемая группой G , к-рая при меньших энергиях распадается до наблюдаемых симметрий $SU(2) \otimes U(1)$ и $SU(3)$ за счёт массовых членов, причём нарушающие симметрии массы имеют порядок M_X .

Относительно структуры объединяющей группы G и характера нарушающих симметрию членов могут быть сделаны разл. предположения [наиб. простой вариант отвечает $G = SU(5)$], однако с качеств. точки зрения наиб. важной чертой объединения является то, что фундам. представление (представление — столбец) группы G объединяет в себе кварки и лептоны из фундам. представлений групп $SU(3)_c$ и $SU(2)_l$, вследствие чего при энергиях выше M_X кварки и лептоны становятся «равноправными». Механизм локального калибровочного взаимодействия между ними содержит векторные поля в присоединённом представлении (представление — матрице) группы G , кванты к-рых наряду с глюонами и тяжёлыми промежуточными бозонами электрослабого взаимодействия содержат новые векторные частицы, связывающие между собой лептоны и кварки. Возможность превращения кварков в лептоны приводит к несохранению барионного числа. В частности, оказывается разрешённым распад протона, напр. по схеме $p \rightarrow e^+ + \pi^0$. Следует отметить, что программа великого объединения столкнулась с рядом трудностей. Одна из них имеет чисто теоретич. характер (т. п. проблема иерархии — невозможность поддержания в высоких порядках теорий возмущений несоизмеримых масштабов энергий $M_X \sim 10^{15}$ ГэВ и $M_W \sim 10^2$ ГэВ). Др. трудность связана с несопадением эксперим. данных по распаду протона с теоретич. предсказаниями.

Весьма обещающее направление развития совр. КТП связано с *суперсимметрией*, т. е. с симметрией