

относительно преобразований, «перепутывающих» между собой бозонные поля  $\Phi(x)$  (целого спина) с фермионными полями  $\psi(x)$  (полуцелого спина). Эти преобразования образуют группу, являющуюся расширенным группой Пуанкаре. Соответствующая алгебра генераторов группы, наряду с обычными генераторами группы Пуанкаре, содержит спинорные генераторы, а также антикоммутирующие эти генераторы. Суперсимметрию можно рассматривать как нетривиальное объединение группы Пуанкаре с внутр. симметриями, объединение, ставшее возможным благодаря включению в алгебру антикоммутирующих генераторов. Представления группы суперсимметрии — с у п е р п о л я  $\Phi$  — заданы на *суперпространствах*, включающих помимо обычных координат  $x$  особые алгебраич. объекты (т. н. образующие *Грассмана алгебры* с инволюцией)  $\theta, \bar{\theta}$  — точно антикоммутирующие между собой элементы, являющиеся спинорами относительно группы Пуанкаре. В силу точной антикоммутативности  $\theta, \bar{\theta}$  все степени их компонент, начиная со второй, обращаются в нуль (соответствующая грассманова алгебра наз. *нильпотентной*), и поэтому разложения суперполей  $\Phi(x, \theta, \bar{\theta})$  в ряды по  $\theta, \bar{\theta}$  превращаются в многочлены. (Напр., в простейшем случае кирального (или аналитического) суперполя, зависящего в определ. базисе только от  $\theta$ ,

$$\Phi(x, \theta, \bar{\theta}) = \Phi(x_L, \theta), \quad x_L = x + i\theta\sigma\bar{\theta}$$

( $\sigma$  — матрица Паули) будет:

$$\Phi(x_L, \theta) = A(x_L) + \theta^\alpha \psi_\alpha(x_L) + \theta^\alpha \theta_\alpha F(x_L).$$

Коэффициенты  $A(x), \psi_\alpha(x), F(x)$  являются уже обычными квантовыми полями — скалярным, спинорным и т. д. Их наз. *компонентными* или *составляющими* полями.

С точки зрения компонентных полей суперполе — это просто составленный по определ. правилам набор конечного числа разных бозе- и ферми-полей с обычными правилами квантования. При построении суперсимметричных моделей требуют, чтобы взаимодействия также были инвариантны относительно преобразований суперсимметрии, т. е. представляли собой суперинвариантные произведения суперполей в целом. С обычной точки зрения это означает введение целой серии взаимодействий компонентных полей, взаимодействий, константы к-рых не произвольны, а жёстко связаны друг с другом. Это открывает надежду на точную компенсацию — всех или хотя бы нек-рых — УФ-расходимостей, происходящих от разных членов взаимодействия. Подчеркнём, что попытка реализовать такую компенсацию просто для набора полей и взаимодействий, не ограниченных групповыми требованиями, была бы бесперспективной из-за того, что раз установленная компенсация разрушалась бы при перенормировках.

Особенно интересными оказываются суперсимметричные модели, содержащие в качестве составляющих *наабелевы калибровочные векторные поля*. Такие модели, обладающие как калибровочной симметрией, так и суперсимметрией, наз. *суперкалибровочными*. В суперкалибровочных моделях наблюдается замечат. факт сокращения УФ-расходимостей. Обнаружены модели, в к-рых лагранжиан взаимодействия, будучи выражен через компонентные поля, представляется суммой выражений, каждое из к-рых по отдельности является перенормируемым и генерирует теорию возмущений с логарифмич. расходимостями, однако расходимости, отвечающие сумме диаграмм Фейнмана с вкладами разл. членов виртуального суперполя, компенсируют друг друга. Это свойство полного сокращения расходимости может быть поставлено в параллель известному

факту понижения степени УФ-расходимости *собств. массы электрона* в КЭД при переходе от первоначальных нековариантных вычислений конца 20-х гг. к фактически ковариантной теории возмущений, учитывающей позитроны в промежуточных состояниях. Аналогия усиливается возможностью использования суперсимметричных правил Фейнмана, когда такие расходимости не появляются вовсе.

Полное сокращение УФ-расходимостей в произвольных порядках теории возмущений, установленное для ряда суперкалибровочных моделей, породило надежду на теоретич. возможность суперобъединения фундам. взаимодействий, т. е. такого, построенного с учётом суперсимметрии, объединения всех четырёх взаимодействий, включая гравитационное, при к-ром не только исчезают перенормируемые эффекты «обычной» квантовой гравитации, но и полностью объединённое взаимодействие окажется свободным от УФ-расходимостей. Физ. ареной суперобъединений являются масштабы порядка планковских (энергии  $\sim 10^{19}$  ГэВ, расстояния порядка планковской длины  $R_{Pl} \sim 10^{-33}$  см).

Для реализации этой идеи рассматривают суперкалибровочные модели, базирующиеся на суперполях, устроенных таким образом, что макс. спин составляющих их обычных полей равен двум. Соответствующее поле отождествляют с гравитационным. Подобные модели наз. *супергравитационными* (см. *Супергравитация*). Совр. попытки построения конечных супергравитаций используют представления о пространствах Минковского с числом измерений, большим четырёх, а также о струнах и суперструнах. Иными словами, «привычная» локальная КТП на расстояниях, меньших планковских, превращается в квантовую теорию одномерных протяжённых объектов, вложенных в пространства высшего числа измерений.

В том случае, если такое суперобъединение на базе супергравитацион. модели, для к-рой будет доказано отсутствие УФ-расходимостей, произойдет, то будет построена единая теория всех четырёх фундам. взаимодействий, свободная от бесконечностей. Тем самым окажется, что УФ-расходимости не возникнут вообще и весь аппарат исключения расходимостей методом перенормировок окажется ненужным.

Что касается природы самих частиц, то не исключено, что теория приближается к новому качеству рубежу, связанному с возникновением представлений об уровне элементарности более высоком, чем кварк-лептонный уровень. Речь идёт о группировке кварков и лептонов в поколения фермионов и первых попытках постановки вопроса о разных масштабах масс различных поколений на основе предсказания существования частиц, более элементарных, чем кварки и лептоны.

*Лит.:* А х и з е р А. И., Б е р е с т е ц к и й В. Б., Квантовая электродинамика, 4 изд., М., 1981; Б о г о л ю б о в Н. Н., Ш и р к о в Д. В., Введение в теорию квантовых полей, 4 изд., М., 1984; и х ж е, Квантовые поля, М., 1980; Б е р е с т е ц к и й В. Б., Л и ф ш и ц Е. М., П и т а е в с к и й Л. П., Квантовая электродинамика, 2 изд., М., 1980; В а й с к о п ф В. Ф., Как мы выросли вместе с теорией поля, пер. с англ., «УФП», 1982, т. 138, с. 455; И ц и к с о н К., З ю б е р Ж.-Б., Квантовая теория поля, пер. с англ., т. 1—2, М., 1984; Б о г о л ю б о в Н. Н., Л о р у н о в А. А., О к с а к А. И., Т о д о р о в И. Т., Общие принципы квантовой теории поля, М., 1987.

Б. В. Медведев, Д. В. Ширков.

**КВАНТОВАЯ ХИМИЯ** — область теоретич. химии, изучающая строение и хим. превращение атомов, молекул и др. многоатомных систем на основе квантовой механики. Осн. ур-ние К. х. — релятивистское *Шрёдингера уравнение*:

$$\hat{H}\psi = \mathcal{E}\psi,$$

где  $\psi$  — волновая  $\psi$ -ция системы, зависящая от пространств. и спиновых координат всех частиц системы.  $|\psi|^2$  характеризует пространств. распределение электронов и ядер в ней,  $\mathcal{E}$  — полная внутренняя энер-