

нять местами можно, как бы далеко атомы ни были расположены друг от друга, нельзя забывать, что обменная энергия очень быстро спадает с расстоянием между атомами. Достаточно разнести атомы на расстояние, превышающее размеры атома в два-три раза, и обменная энергия практически обращается в ноль. Значительно быстрее, чем, например, энергия электростатического притяжения или отталкивания между ионами. А это означает, что, вычисляя энергию взаимодействия между далеко разнесенными ионами, неразличимостью электронов попросту можно пренебречь.

Неразличимость, как было сказано, – не специфическое свойство электронов. Все элементарные частицы (и протоны, и нейтроны, и мюоны, и все мезоны, и кварки), каждая в своем классе, – неразличимы: протоны не отличимы друг от друга, один нейтрон нельзя отличить от другого и т.д. А это значит, что введение понятий «протон», «нейтрон» и т.д., как и введение понятия «электрон», не требует разделения свойств каждой отдельной элементарной частицы на те, которые учитываем, вводя понятие, и на те, которыми пренебрегаем, чтобы не вступать в противоречие с вводимым понятием. Каждый протон имеет свойства всех протонов, каждый нейтрон – всех нейтронов и т.д.

При этом в физике элементарных частиц, как и в любой области физики, примеры использования абстракции при введении новых понятий подобрать совсем нетрудно. Вот один простой пример. Протоны и нейтроны обладают многими общими свойствами. Свойства эти не зависят от того, имеет частица заряд или нет. Абстрагируясь от наличия заряда у протона и от отсутствия заряда у нейтрона, вводят понятие «нуклон», объединяющее эти две частицы.

Пожалуй, никогда в обыденной жизненной практике, объединяя предметы новым понятием, мы не знаем столь точно, какими свойствами мы жертвуем, как в случае введения понятия «нуклон». А жертва отнюдь не мала – электрический заряд. Жертва ли это? В каком-то смысле, да. Конечно, протон не лишается способности притягивать электрон. Но приходится изъясняться так: «В одном из состояний нуклон обладает положительным зарядом и, следовательно, притягивает электрон».

Понятие «нуклон» не всегда полезно.

Вот пример для уточнения слова «полезно». Число нуклонов в ядре определяет атомную массу, а число протонов – атомный номер. Обе характеристики очень важны: атомная масса – в ядерной физике, а атомный номер – в химии.

Термину (понятию) «элементарные частицы» мы посвятили небольшой, но, как нам кажется, важный предыдущий раздел. Термин «элементарные частицы» – хороший пример абстракции. Когда частицу называют элементарной, то, как правило, тем самым подчеркивают нежелание (скорее, отсутствие необходимости в настоящий момент) заниматься ее внутренней структурой. Мы знаем, что нуклоны состоят из кварков, но в подавляющем большинстве случаев об этом можно не думать и считать нуклоны элементарными частицами.

Этим примером хочется еще раз подчеркнуть: процесс выработки понятий, сопровождаемый абстрагированием, – творческий процесс.

Вывод: абстрагирование – часто вполне осознанный прием, который используется при решении определенных задач.

А вот следующее, несколько шокирующее утверждение приведено только, чтобы заинтересовать тех, кто впервые сталкивается с описываемыми понятиями: неразличимость бывает разная.

Спин. Фермионы и бозоны

Как и принципиальная неразличимость, отличие неразличимостей не имеет аналога в классической физике. Отличие неразличимостей тесно связано со спином.

Что прежде всего приходит в голову, когда произносится слово «частица»? Не знаю, как вам, а мне – маленький шарик, нечто маленькое и твердое. Знаю, что это неправильно. Квантовая частица имеет и корпускулярные и волновые черты, частице нельзя приписать определенный размер. Если же реальную частицу наделять свойствами классических частиц, то, скорее, надо было бы представлять частицу в виде материальной точки. Точки... Не укладывается в голове: частица вещества – точка? Нечто вовсе не имеющее размеров? Нет, скорее уж, шарик!

Как движется шарик? Кроме поступательного движения, шарик может вращаться, как волчок. С вращением связан определенный момент количества движения (момент импульса). Величина момента количества движения имеет размерность $\text{г}\cdot\text{см}^2/\text{с}$. Для многих, наверное, будет неожиданностью, что такую же размерность имеет знаменитая постоянная Планка, без участия которой не обходится, как мы знаем, ни одна формула квантовой физики.

Обязанный вращению момент количества движения классического твердого тела, естественно, может быть любым и куда угодно направленным. Момент количества движения, или просто момент, – вектор. Вращающийся шарик имеет момент, направленный по оси вращения. Направление оси вращения может быть любым. Классический шарик может вращаться вокруг любой оси – той, вокруг которой ему придали вращение. Если шарик не вращается, то момент его равен нулю.

Вернемся к электрону. Выяснилось, что электрон, протон и нейтрон имеют собственный момент количества движения. Здесь очень важное слово «собственный». Оно означает, что вращение присуще электронам и другим элементарным частицам как их внутреннее неотъемлемое свойство. Вращение электронов нельзя прекратить, как нельзя отобрать у электрона или у протона их заряды. И величину собственного момента количества движения частицы изменить нельзя. Собственный момент количества движения частицы принято называть ее спином.

Повторим: спин – одна из неотъемлемых характеристик частицы. Составляя визитные карточки элементарных частиц (электрона, протона, нейтрона, мезонов, нейтрино и т.д.), перечисляя их характеристики, мы должны назвать не только массу, заряд, но и спин.