

Прежде чем привести значения спина электрона, протона, нейтрона и других элементарных частиц, скажем немного о необычном свойстве любого квантового момента количества движения. Так же как квантовая частица не может одновременно иметь определенные значения скорости и координаты, ее момент количества движения не может иметь определенные значения всех своих трех проекции. Это еще одно проявление принципа неопределенности. Квантовая механика допускает, чтобы у момента количества движения были определенными модуль момента, т.е. его длина, и одна из проекций на какую-либо произвольно направленную ось.

Не знаю, как происходило знакомство с квантовой механикой у других, меня поразило очень многое. Пожалуй, больше всего – удивительная логичность и непротиворечивость квантовой механики, казалось бы, нарушающей привычную логику. С интересом читал статьи, посвященные дискуссии между Эйнштейном и Бором. Из конкретных квантовых неожиданностей сильное впечатление на меня произвело пространственное квантование, о котором предстоит рассказать.³

Чтобы рассказать о пространственном квантовании, совершим небольшое тактическое отступление: представим себе, что хотим изобразить классический вектор момента количества движения. Как изобразить вектор? Сложность, пожалуй, в том, что способов много. Поступим так: из точки, выбранной для начала координат (эта точка соответствует нулевому вектору), проведем сферу, радиус которой равен величине момента. Вектор момента, проведенный из начала координат, естественно, упирается в сферу. Чтобы зафиксировать направление вектора момента, сферы недостаточно: надо выбрать оси координат. Удобно взять три взаимно ортогональных орта и к ним привязать оси x , y и z . Куда направлять оси координат, безразлично. Это наше дело. Когда выбраны оси координат, направление вектора момента можно задать двумя углами. А можно, конечно, просто задать проекции вектора момента на оси. Сумма их квадратов равна квадрату величины момента.

К каким изменениям приведет квантовая механика? Перечислим по порядку. Как мы уже говорили, одновременно определенные значения имеют длина вектора момента и одна из его проекций, для определенности z -я. Кроме того, длина вектора момента и его проекция могут принимать отнюдь не все значения, а только дискретные.

Проекция момента на ось z принимает следующие значения:

$$-s\hbar, -(s-1)\hbar, \dots, (s-1)\hbar, s\hbar$$

– всего $2s + 1$ значений. Чтобы $2s + 1$ было целым числом, s должно быть либо целым числом, либо полуцелым. В первом случае число проекций нечетно, а во втором – четно.

³ Когда я более или менее серьезно изучал квантовую механику, о туннельном эффекте я был наслышан. Поэтому этот наиболее поразительный квантовый феномен не произвел того впечатления, которого заслуживает.

Перечисленные утверждения относятся к моменту количества движения любой природы. Когда речь идет об орбитальном моменте, то часто букву s заменяют буквой l .

Главным образом нас будут интересовать собственные моменты количества движения – спины. Прежде всего, спин электрона.

Величиной спина принято считать s , т.е. величину максимальной проекции спина в единицах \hbar . Про частицу, у которой максимальная проекция на избранную ось равна $s\hbar$, говорят, что у частицы спин равен s .

Если классический вектор имеет максимально возможную проекцию на какую-либо ось, значит, вектор направлен вдоль этой оси. Его длина, естественно, равна этой проекции. С квантовым спином сложнее. Когда максимальная проекция равна $s\hbar$, квадрат длины вектора спина равен $s(s+1)\hbar^2$. Он больше квадрата максимальной проекции. Причину этого понять легко. Ведь у спина, кроме максимальной, есть две другие проекции. Так как все три не могут иметь определенные значения, то, хотя проекция на избранную ось максимальна, остальные две проекции не равны нулю – они вообще не имеют определенного значения.

Хорошее наглядное представление: спин – вектор, стрелочка. Он крутится вокруг оси. Квантовая механика запрещает спину совпасть с осью. У квантового спина всегда есть отличный от нуля угол отклонения от любой избранной оси (его минимальное значение определяется выписанными выше формулами). Проекция спина вдоль избранной оси имеет определенное значение, а проекция на плоскость всегда «крутится».

Подчеркнем: если изотропия ничем не нарушена, выбор направления оси (ее называют осью квантования) совершенно произволен. А вот если частицу поместить в магнитное поле, то за ось квантования естественно выбрать именно направление вдоль магнитного поля.

Частицы с полуцелым спином называют фермионами – в честь великого итало-американского физика Энрико Ферми. Частицы с нулевым или целым спином называют бозонами – в честь индийского физика Шатъендраната Бозе.

Электроны, протоны и нейтроны – фермионы. У каждой из этих частиц спин равен $1/2$ ($s = 1/2$). Это означает, что спин и электрона, и любого из нуклонов относительно произвольной оси может ориентироваться лишь двумя способами: либо по оси (проекция равна $\hbar/2$), либо против (проекция равна $-\hbar/2$).

У фотона спин равен 1 ($s = 1$). Фотон – бозон. Некоторые мезоны тоже бозоны. Есть среди них частицы с нулевым спином.

Список того, что сейчас принято называть элементарными частицами, включает около 350 наименований. Среди них есть и фермионы, и бозоны. Спины элементарных частиц в большинстве случаев не очень велики. Но все же, просматривая список элементарных частиц (см. 5-й том «Физической энциклопедии»), среди