

УДК 539.183.4

Понятие «спин» в квантовом мире

Левандо А.М., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Медико-технические информационные технологии»*

*Научный руководитель: Фадеев Г.Н., д.п.н., к.х.н., профессор
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
gerfad@bmstu.ru*

Само определение понятия «спин» (англ. *spin* – *веретено*) включает в себя несколько подпунктов:

– фундаментальная характеристика микроскопической частицы (например, атомного ядра или элементарной частицы), которая в некотором отношении аналогична «собственному моменту импульса частицы»;

– является квантовым свойством частиц и не имеет аналогов в классической физике, тогда как классический момент импульса возникает вследствие вращения массивного тела со конечными размерами;

– спин присущ даже частицам, которые на сегодня считаются точечными и не связан ни с одним вращением масс внутри такой частицы.

Впервые, пространственное квантование направления магнитных моментов у атомов было описано в опыте Штерна-Герлаха в 1922 году (впоследствии, в 1927 году этот факт был интерпретирован как доказательство существования спина у электронов).

Этот опыт экспериментально подтвердил, что атомы обладают магнитным моментом, проекция которого на направление внешнего магнитного поля принимает лишь определённые значения (пространственно квантована). Он был осуществлён немецкими физиками Отто Штерном и Вальтером Герлахом, которые исследовали прохождение пучка атомов Ag (а затем и др. элементов) в сильно неоднородном магнитном поле (Рис1.) с целью проверки теоретически полученной формулы пространств квантования.

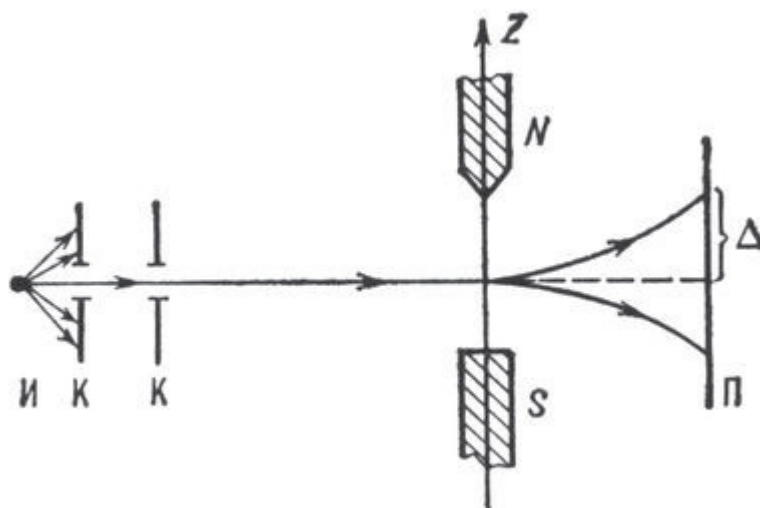


Рис. 1. Схема опыта Штерна-Герлаха: И — источник атомов; К — щели, формирующие узкий пучок; N, S — полюса магнита, создающего постоянное неоднородное поле; П — пластинка, на которую оседают атомы; Δ — величина отклонения пучка от первоначального направления. Опыт производится в вакууме

На атом, обладающий магнитным моментом и движущийся в неоднородном вдоль Z магнитном поле H , действует сила Лоренца, которая отклоняет его от первоначального направления движения. Если проекция магнитного момента атома могла бы изменяться непрерывно, то на пластинке Π наблюдалась бы размытая широкая полоса. Однако в опыте было обнаружено расщепление пучка атомов на 2 компоненты, симметрично смещенные относительно первичного направления распространения на величину Δ — на пластинке появлялись две узкие полосы. Это указывало на то, что проекция магнитного момента атома на направление поля H принимает только два отличающиеся знаком значения. Величина магнитного момента атома, измеренная в опыте по смещению Δ , оказалась равной магнетону Бора.

Опыт Штерна-Герлаха сыграл большую роль в дальнейшем развитии представлений об электроны. Согласно квантовой теории Бора — Зоммерфельда, орбитальный и магнитный моменты используемых в опыте атомов с одним электроном во внешней оболочке равны нулю, поэтому такие атомы не должны были бы вообще отклоняться магнитным полем. Данный опыт, а также другие более ранние эксперименты сыграли важную роль в становлении гипотезы существования спина.

Уже в 1924 году Вольфганг Паули ввёл двухкомпонентную внутреннюю степень свободы для описания эмиссионных спектров валентного электрона в щелочных металлах. Это позволило ему сформулировать принцип Паули, согласно которому в некоторой системе взаимодействующих частиц у каждого электрона должен быть свой собственный неповторяющийся набор квантовых чисел (все электроны в каждый момент времени находятся в разных состояниях).

В 1925 году Ральф Крониг (ассистент известного физика Альфреда Ланде) высказал предположение, что спин-результат собственного вращения электрона. Однако, согласно Паули, в таком случае поверхность электрона должна вращаться быстрее скорости света, что кажется невероятным.

Тем не менее осенью 1925 года Дж. Уленбек и С. Гаудсмит постулировали, что электрон обладает спином, равным половине постоянной Дирака, и спиновым магнитным моментом, равным магнетону Бора. Это предположение и было принято научным сообществом, поскольку удовлетворительно объясняло известные факты.

В квантовой механике спиновый момент импульса любой системы квантуется. Амплитуда или длина вектора спинового момента в каждом состоянии равна:

$$S = \hbar \sqrt{s(s + 1)},$$

где \hbar - постоянная Дирака, а спиновое квантовое число s является положительным целым или полуцелым числом (0, 1/2, 1, 3/2, 2, ...) и зависит от типа частицы. В противоположность этому орбитальный момент импульса имеет только целые квантовые числа.

К составным частицам можно отнести атомные ядра, состоящие из нуклонов, а также адроны, согласно кварковой концепции состоящие из кварков. Спин составной частицы находится векторным суммированием орбитальных и спиновых моментов импульса всех составляющих её частиц, с учётом правил квантового сложения, и также квантуется, как любой момент импульса. В квантовой механике каждая составная частица имеет некоторый минимально возможный спин, не обязательно равный нулю (в этом состоянии моменты импульса составляющих частиц частично компенсируют друг друга, уменьшая спин составной частицы до минимума). Если же моменты импульса составляющих частиц складываются, то это может приводить к состояниям, в которых составная частица имеет значительный спин. Так, одним из наибольших спинов среди адронов обладает барионный резонанс $\Delta(2950)$ со спином 15/2. Спин ядер из-за их относительно больших размеров может превышать 20.

Спин какого-либо атома определяется его электронной оболочкой. В заполненных атомных оболочках количество электронов чётно и их суммарный момент импульса равен нулю. Поэтому за спин атомов и молекул ответственны неспаренные электроны, находящиеся обычно на внешней оболочке. Считается, что именно спин неспаренных электронов приводит к явлению парамагнетизма. Значения спина некоторых элементарных и составных частиц представлены в таблице.

Спин	Общее название частиц	Примеры частиц
0	Скалярные частицы	π -мезоны (составные частицы, имеющие наименьшую массу среди мезонов, открыты в 1947 году), атомы и ядра ^4He (самый распространённый изотоп гелия)
1/2	Спинорные частицы	Фермионы: электрон, кварки, протон, нейтрон, атомы и ядра ^3He
1	Векторные частицы	Бозоны: фотон (безмассовая частица, способная существовать в вакууме, только двигаясь со скоростью света), W- и Z- бозоны (переносчики слабого взаимодействия).
3/2	Спин-векторные частицы	Δ -изобары, гравитино
2	Тензорные частицы	Гравитон, тензорные мезоны

Понятие спина широко используется в химической и физической спектроскопии, в магниторезонансных измерениях плотности протонных спинов с целью сканирования внутренних органов в медицине, в технологиях современных компьютерных жёстких дисков на основе гигантского магниторезистивного эффекта. Спин рассматривается как возможный носитель двоичной информации в спиновых транзисторах. Электроника, связанная с такими транзисторами, носит название спинтроники. Спин и принцип Паули оказываются необходимыми в квантовой механике для объяснения ряда явлений и закономерностей, таких например, как периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева, структура атомных спектров, эффект Зеемана, ферромагнетизм.

Список литературы

1. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. 7-е изд., стер. СПб.: Лань, 2004. 672 с.
2. Спин. Режим доступа: http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article_3522.html (дата обращения 08.04.2014).
3. Савельев И. В. Курс физики. В 3 т. Т 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. М.: Наука, 2002. 368 с.
4. Иродов И. Е. Квантовая механика. Основные законы. 3-е изд., М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. 256с.
5. Макаров А. М., Лунёва Л. А., Макаров К. А. Теория и практика классической электродинамики. М.: Ленанд, 2014. 784 с.