

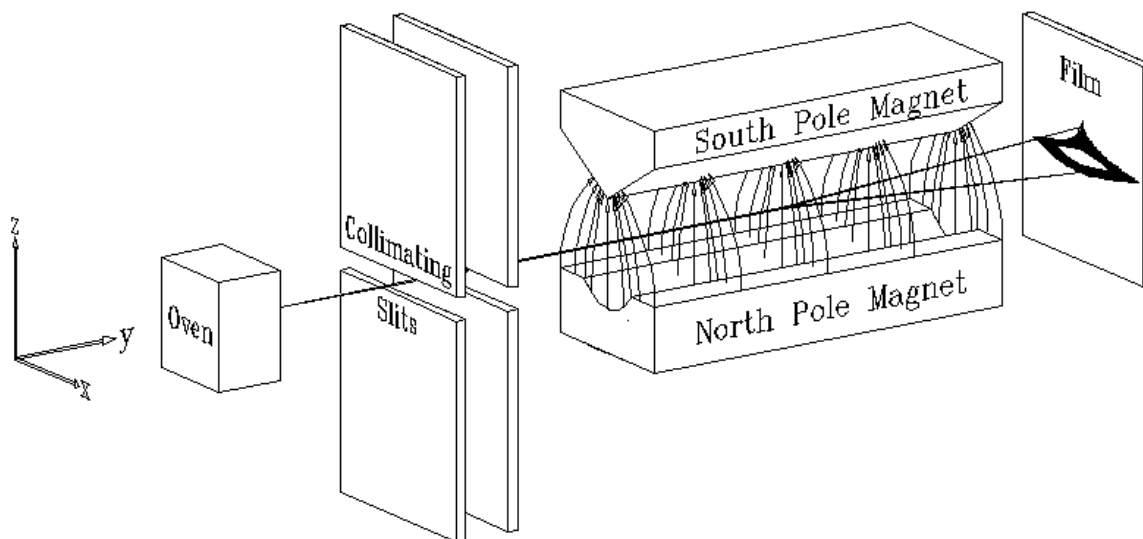
Является ли спин квантовой характеристикой?

Владислав Миркин, ктн.

Толчком к появлению понятия спин (вращение) явился совершенно неожиданный результат опыта Штерна-Герлаха: атомы серебра, пропущенные через анализатор Штерна-Герлаха, осели на экран не в виде сплошной полосы, не в виде трех отдельных полос (как ожидалось, исходя из теоретических представлений классической физики), а разделились только на две полосы. Именно это и побудило физиков-теоретиков ввести сначала понятие спина атома, а затем и других частиц, включая электрон.

Современному понятию спина сопутствуют два момента, несопоставимых с понятиями классической механики и электродинамики. Во-первых, величина спина любого микроскопического объекта принимает в эксперименте только два значения (то есть, квантуется), во-вторых, измеряемая величина спина, например, электрона может быть достигнута лишь при скорости движения «материи», превышающей скорость света. Эти обстоятельства вынудили физиков принять квантовую трактовку понятия спина (или в моем понимании, приписать материальным объектам некие мистические свойства).

Поскольку интерпретация экспериментов строится на тех знаниях, которые получены к моменту проведения экспериментов, а наука все-таки движется вперед, то иногда нелишне вернуться к анализу когда-то интерпретированных экспериментов. Что я сейчас и сделаю.



Перед нами схема установки эксперимента Штерна-Герлаха. Хочу обратить внимание на то, что, в отличие от теоретизированного описания результатов эксперимента (некоторым теоретикам кажется не важным, то, что в реальности получено экспериментаторами: в соответствии с их умозрительными построениями должно быть две полосы), на экране получена фигура, которую при некотором воображении можно посчитать отпечатком губ чуть приоткрытого рта.

Мне это кажется важным, поскольку поле внутри анализатора является неоднородным. Как же в этом случае получить симметричную картину (две короткие линии), о которой пишут многие интерпретаторы. Чуть отвлекаясь, скажу, что неоднократно сталкивался с ситуациями, когда теоретики в угоду своим теориям искажали результаты экспериментов, зачастую «выплескивая ребенка из купели».

Давайте сейчас проведем очевидный мысленный эксперимент (хотя при желании его можно и осуществить на практике): в поле большого постоянного магнита (думаю, что его не нужно даже делать таким же неоднородным, как в анализаторе Штерна-Герлаха) будем вбрасывать небольшие по размерам постоянные магниты. Изначально их полюса могут быть ориентированы во всех возможных направлениях. Совершенно очевидно, что все эти магниты практически мгновенно (то есть, еще на входе в большой магнит) повернутся своими полюсами к противоположным полюсам большого магнита. И в дальнейшем при своем движении они будут отклоняться в сторону того полюса большого магнита, который оказался ближе к противоположно намагниченному полюсу малого магнита. Считая, что скорости движения малых магнитов примерно одинаковы, а ориентируются они по полю практически сразу, то в результате малые магниты будут попадать в две точки на экране за пределами анализатора. Не точки, а линии вроде тех, что в реальности получены в эксперименте Штерна-Герлаха, будут получены за счет неоднородности поля в большом магните и за счет того, что малые магниты могут быть брошены не совсем по центральной оси установки (именно поэтому я и обратил внимание на форму полос).

Наверное, возникнет вопрос, а что будет с теми магнитами, которые изначально ориентированы строго вдоль оси системы и находятся на ней. Казалось бы они не должны быть переориентированы полем большого магнита. Однако, на практике такое невозможно, поскольку невозможно создать неизменное магнитное поле ни в одном из направлений. Более того, мы как бы постоянно забываем, что магнитное поле (большого магнита в данном случае) «начинается» задолго до переднего сечения магнита (кстати, иногда об этом забывают и разработчики фокусирующих магнитных систем). Перед его входом магнитное поле представит собой «линзу», которая уже заранее переориентирует магниты в нужном направлении.

Итак, обычный классический магнит отклонит классические магнитики точно так же, как это сделал анализатор Штерна-Герлаха с атомами серебра. Совершенно очевидно, что любые атомы являются магнитиками. Наверное, по своей структуре это магнитики сложнее, чем обычные постоянные магниты (в атомах магнитными моментами обладают и ядра, и электроны), но сумма магнитов, по-видимому, все равно является магнитом. При этом слишком вычурным является утверждение, что уровень $5s$, на котором находится валентный электрон в серебре, не имеет собственного магнитного момента (любой движущийся заряд должен порождать магнитное поле). А тот магнитный момент, который выявлен в эксперименте Штерна-Герлаха, является магнитным моментом именно этого электрона. Тем

более, что для моих рассуждений правильность вышеприведенного заявления значения не имеет.

Следует отметить еще один момент. В эксперименте выделили один из «лучей» (пусть тот, в котором атомы отклонились вверх), то есть, они имеют одинаковый спин (в принятых представлениях). Этот «луч» пропустили через еще один анализатор Штерна-Герлаха, повернутый относительно первого на 90 градусов. И «луч», который состоял из атомов с одинаковым спином, опять разделился на два луча. То есть, поток атомов с одинаковым спином, вдруг, повел себя так, будто в нем были атомы обоих спинов? Конечно, это выглядит экзотично и мистически, и никак не может соответствовать поведению классических объектов.

Но ведь если мы выделим поток тех малых магнитов, которые отклонились «вверх» в нашем мысленном эксперименте, да еще повернем большой магнит так, чтобы малые магниты были ориентированы под прямым углом к большому, то опять произойдет разделение малых магнитов на два одинаковых потока по той же самой причине, по которой они делились в первом случае. Я бы допустил, что и в случае второго анализатора Ш-Г, ориентированного так же, как и первый, мы могли бы видеть разделение потока, только «вниз» бы переместилась лишь малая часть магнитов, поскольку верхняя часть анализатора находится в магнитном поле большей напряженности. То есть, если магниты изначально ориентированы по полю большого магнита, то в зависимости от того, по какой линии (выше точки с нулевым воздействием поля большого магнита, или ниже) они влетели во второй анализатор, малые магниты отклонятся все вверх, или все вниз. Но, если им нужно повернуться на 90 градусов, то они имеют шанс оказаться по обе стороны от этой линии в анализаторе.

То есть, сравнивая результаты эксперимента Ш-Г и нашего мысленного эксперимента, можно утверждать, что проекция спина на любую ось принимает только два фиксированных значения не потому, что существует некое квантовое свойство атомов, или частиц, а потому, что внешнее поле моментально ориентирует магниты в нужном нам направлении. Более того, вообще было бы странно думать, что некое внутреннее качество микрочастиц, вдруг, приобретает векторное свойство, да еще именно в том направлении, которое нам нужно. Если думать, что это качество вызвано вращением частиц, то как оно узнает, в каком направлении вращаться.

А теперь о вращении.

Как бы мы ни представляли себе электрон и другие заряженные частицы, но мы уверены, что существует движение электрона в атоме вокруг его ядра, а также вращение ядра вокруг собственной оси. Поскольку движение заряженной частицы неизбежно вызывает появление магнитного поля, то вращение электрона вокруг ядра превращает атом в элементарный магнит, который неизбежно будет взаимодействовать с любым магнитным полем. Ситуация несколько усложняется тем, что наряду с вращением электрона есть еще и вращение ядра. Здесь имеет место уже взаимодействие двух магнитов. В зависимости от того, каковы

направления взаимного вращения, магнитное поле вращающегося электрона будет выталкивать ядро из плоскости своего вращения (но атом не разрушится из-за действия электрических сил), либо, наоборот, втягивать ядро в плоскость (точнее, удерживать в этой плоскости). То есть, если электрон и ядро вращаются в одну сторону, то оба магнита будут разнополярны в пространстве (втягивание), если в разные, то они будут выталкивать друг друга.

Но я сейчас как бы нарушаю еще одну квантовомеханическую истину: электрон не может вращаться с требуемой скоростью. Истина, вообще-то, классическая, но вот всем кажется, что она нашла свое разрешение только в рамках квантовой механики. Ну, а я бы сказал, что квантовая механика эту истину только запутала.

Давайте вернемся к тем событиям, когда Д.Уленбек и С.Гаудсмит принесли своему шефу П.Эренфесту предложение о вращении электрона, приводящему к возникновению его магнитного момента. Если сейчас отбросить все эмоциональные моменты и сократить время, то мы увидим, что практически одновременно Нильс Бор и Пауль Эренфест отвергли идею классического вращения, поскольку требуемая величина магнитного момента (известная из эксперимента) могла быть получена лишь при вращении поверхности электрона со стократной скоростью света, что никак невозможно себе представить. Либо же электрон должен был быть очень больших размеров. Вот тогда и заставили всех думать, что спин электрона — это некое странное свойство материи, не имеющее аналогов в классических представлениях.

Но мне кажется, что все названные физики в 1925 году еще ничего не знали о том, что существуют фазовая и групповая скорости распространения волн. Эти понятия были введены в физику в середине 30-ых годов, и определение фазовой скорости дал Л.Мандельштам (кстати, скорость света — это фазовая скорость). Но, когда были введены эти понятия, к проблеме спина уже не возвращались. Да и вообще теоретическая физика не очень интересуется достижениями радиофизики.

Об этих скоростях можно прочесть в любом учебнике, но мне показалось, что рассуждения о них носят слишком абстрактный характер, из-за которого вовсе не все могут все понять. Поэтому я приведу примеры фазовой скорости, которые будут доступны даже неспециалистам.

Когда-то в одном из научно популярных журналов была опубликована задача. Может ли миллион людей, не расцепляя рук перейти дорогу, если по ней нескончаемым потоком идут машины с интервалом в сто метров со скоростью 40 км/ч? Конечно, могут, если каждый человек начнет движение, как только кузов машины пройдет перед ним. 40 км/ч — это порядка 11 м/с, и имеющих у вас 9-ти секунд вполне хватит, чтобы пересечь путь машины. Наблюдая сверху, мы увидим волну из людей, которая движется вдоль дороги со скоростью 40 км/ч, в то время как сами люди движутся поперек дороги со скоростью порядка 1 м/с. Первая скорость и будет фазовой скоростью волны, и направлена она под углом в 90 градусов к скорости переноса массы, которая и будет групповой скоростью.

Второй пример показывает, что фазовая скорость волны может превышать

скорость света и даже быть равной бесконечности. Представьте себе абсолютно прямую береговую линию и волну набегающую на нее под небольшим углом. Расположившись на какой-либо высокой точке вы сможете увидеть, как пенная точка соприкосновения гребня волны (то есть, той самой единой фазы) с береговой линией с огромной скоростью (ну, например, 1 км/с) движется вдоль береговой линии, хотя сама волна движется не быстрее нескольких метров в секунду. Ну, а если волна движется точно под прямым углом к линии берега, то это означает, что скорость точки будет равна бесконечности. И опять фазовая и групповая скорости перпендикулярны друг другу.

И, наконец, тот пример, который я привожу, наверное, уже в третьей статье. Вы наблюдаете футбольный матч. Болельщики вскакивают на трибунах, образуя волну. Нет никаких препятствий, чтобы сидящие напротив друг друга болельщики вскакивали через тысячную, миллионную и даже миллиардную доли секунды (на практике все одновременно). Волна катится по периметру стадиона практически с бесконечной скоростью, а переноса массы вообще нет (групповая скорость равна нулю).

Если бы Уленбек и Гаудсмит решили бы еще одну почти философскую задачу, то они вряд ли испугались возражения Бора и Эренфеста.

Я попробую плавно подойти к этой задаче.

Представьте себе, что вы сделали шар идеальной формы и из абсолютно непрерывного материала. То есть, ни молекул, ни атомов, ни электронов, вообще никаких частиц нет. Смогли бы вы узнать, вращается этот шар, или нет? Касание этого шара не даст ответа, поскольку абсолютно непрерывная материя не может иметь трения. Аналогично будет с отражением света. Вывод: движение непрерывной материи неопределимо никакими физическими средствами.

А теперь давайте представим себе кольцо идеально непрерывного заряда (то есть, никаких элементарных зарядов не существует). Можем ли мы определить, движется этот заряд по кругу, или нет? Казалось бы, теория дает нам такую возможность: надо замерить магнитное поле вокруг этого кольца. Если поле отлично от нуля, то ток существует. Но, если внимательно посмотреть на то, как Пьер Лаплас математически обобщал результаты экспериментов Жана Батиста Био и Феликса Савара, то мы увидим, что в его теоретическом выводе ток в проводнике представлял собой движение отдельных элементарных электрических зарядов (не электронов, а зарядов, заключенных в некоем элементарном объеме), а магнитное поле тока являлось суперпозицией полей, созданных отдельными элементарными участками тока. Да и вообще, как замерить ток, протекающий через некое сечение, если из-за его абсолютной непрерывности мы не можем пересчитать то количество зарядов, которое пересекает это сечение в единицу времени? То есть, осознаем мы, или нет, но в законе Био-Савара-Лапласа магнитное поле возникает как результат суммирования магнитных полей отдельных зарядов.

Отсюда вывод: если электрон и любая другая частица обладают магнитным

моментом, то потому, что электрические заряды на их поверхностях, да и внутри, являются неоднородными, то есть, состоящими из значительно более мелких частиц, которые в состоянии перемещаться самостоятельно в пределах тех частиц, которые мы рассматриваем.

И теперь мы уже готовы избавиться от квантово-механической мистики. Эти самые мелкие частицы (переносчики заряда) способны участвовать в движении на поверхности частиц (или, как я уже говорил, внутри этих частиц) по типу вскакивающих болельщиков. И это движение с фазовой скоростью. Такое движение вовсе не является фикцией движения: оно вполне реально и способно оказывать влияние на окружающую среду. Представьте себе, что на головах болельщиков укреплены магниты, а выше них натянута пленка, на которой тоже укреплены магниты. Тогда вскакивание болельщиков приведет к возникновению волны на пленке, которая будет бежать со скоростью волны вскакивания болельщиков.

Сейчас даже не важно, как мы представляем реальную структуру электрона, протона и ядра. Достаточно просто предположить, что все эти частицы состоят из существенно неоднородной материи, вращаются вокруг некой оси даже с не очень большой скоростью. А волна неоднородности (по сути заряд) движется уже со скоростью, превышающей скорость света. Но я не вижу смысла останавливаться на этом, поскольку уже сделал в [1] предположение о структуре частиц материи.

Итак, все пространство представляет собой кристаллическую решетку (структуру) монополярного эфира. Понятно, что частицы эфира, обладающие единым электрическим зарядом, не могут существовать в иной форме, кроме как в виде кристаллической решетки. И, хотя потенциал в каждой точке такого пространства относительно точек с отсутствием эфира (где-то за границей нашей Вселенной) может быть огромным, мы измеряем этот потенциал относительно соседних точек. А потому везде, где мы пока в состоянии что-то измерять, он равен нулю (ну, если хотите, неподвластен нашим приборам). Это как раз то, что говорил Поль Дирак, что все наши приборы настроены на ноль. В этой решетке частиц, заряд которых в нашей квалификации положителен (так следует из анализа явлений природы), любое увеличение плотности расположения частиц эфира будет эквивалентно наличию положительного заряда, любое разряжение — наличию заряда отрицательного. Любое перемещение уплотнения или разряжения решетки будет эквивалентно току заряда (это и будут токи смещения). Такой ток будет создавать движущееся в том же направлении электрическое поле (некую волну), но также и волны в поперечном направлении, которые мы и воспринимаем, как магнитное поле.

Но при определенных обстоятельствах уплотнения и разряжения могут достигать больших значений, и тогда образуются длительно устойчивые частицы: протон и электрон. Об этом и сказано в работе [1]. Протон — это весьма плотный сгусток частиц эфира, а электрон — это «дырка» в его структуре.

Я предполагаю, что условия образования данных частиц неизбежно вызывают их

вращение с некоторой скоростью. А их крупчатость (то, что они состоят из частиц эфира) может привести к возникновению волн по поверхности, движущихся с любой скоростью (именно той, что и насчитали Бор и Эренфест). В электроне такое вращение следует понимать, как вращение (вращательное перемещение плотности частиц эфира) в слое эфира, примыкающего к «дырке». Естественно, волны от такого вращения заряда будут распространяться в эфире за пределами наших частиц, и создавать те самые поля, о которых я говорил.

Таким образом, мы ответили на оба вопроса, сформулированные в начале статьи, ответы на которые в рамках современной физики звучали ссылкой на некие квантовые свойства частиц и атомов. А вопрос в заглавии статьи получил ответ, что спин не является квантовой характеристикой: он вполне понятно интерпретируется в классической физике.

Литература.

1. В.Миркин. Механизм образования «элементарных» частиц. SciTecLibrary, 26 Мая 2013.