Доклады Академии наук СССР
1955. Том 102, № 6

ФИЗИКА

В. В. ВЛАДИМИРСКИЙ

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ВОЗМОЖНОСТЬ РАЗДЕЛЕНИЯ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С РАЗЛИЧНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

(Представлено академиком А. И. Алихановым 21 II 1955)

Как известно, магнитные и механические моменты нейтральных частиц могут быть определены при помощи опыта типа Штерна — Герлаха. В этих опытах происходит разделение траекторий частиц с различным значением проекции спина на направление магнитного поля. Обычно утверждается, что для заряженных частиц такое разделение невозможно ([1,2]). Это утверждение основывается на соображениях Н. Бора о квантовой неопределенности лоренцовой силы, действующей на заряд в неоднородном магнитном поле. Неопределенность силы, действующей на движущийся заряд, оказывается одного порядка с силой, действующей на магнитный момент, что смазывает эффект расщепления и приводит к невозможности получения полностью поляризованных пучков в простом опыте Штерна — Герлаха для электронов, протонов и других заряженных частиц. Отсюда делается вывод о полной невозможности разделения траекторий поляризованных пучков заряженных частиц в электромагнитном поле. Такое существенное различие в поведении заряженных и нейтральных частиц не имеет глубоких оснований в математическом аппарате квантовой механики. Действительно, в нерелятивистском приближении оператор магнитного момента равен просто оператору спина, умноженному на скаляр. Оператор спина коммутирует с оператором координаты как для нейтральных, так и для заряженных частиц. Различие между нейтральными и заряженными частицами заключается в разном виде функции Гамильтона, а не в перестановочных соотношениях. Вследствие этого соображения Бора в том виде, в котором они обычно приводятся, не имеют универсальной силы, а лишь указывают, что постановка опыта, пригодная для нейтральных частиц, не дает положительных результатов с заряженными частицами. Это вполне естественно, так как в случае заряженных частиц малое взаимодействие магнитного момента должно быть обнаружено на фоне более сильного взаимодействия заряда.

Рассмотрим схему опыта, пригодную для заряженных частиц. При движении частиц с зарядом e, массой m, спином s и магнитным моментом $\mu = \frac{eh}{2mc} gs$ в однородном магнитном поле H энергия равна в нерелятивистском приближении

$$E = (2n + 1 - gs_z) \frac{|ehH|}{2mc} + \frac{p_z^2}{2m},$$

если ось z направлена по вектору eH. Здесь $n \geqslant 0$ — целое число, определяющее кинетическую энергию поперечного движения; g — гиро-

магнитное отношение; s_z — проекция спина на ось z; p_z — составляющая импульса в направлении оси z. Интегралы движения E, p_z, n, s_z не определяют полностью состояния; в качестве дополнительного интеграла движения для однозначного определения волновой функции может быть использована одна из координат центра классической орбиты.

Если пучок частиц вне поля хорошо отобрать по энергии $\Delta E \ll \ll ehH/2mc$ и затем ввести в область однородного поля вдоль оси z, то продольная составляющая скорости частиц v_z окажется квантованной согласно

$$v_z = \sqrt{\frac{2}{m}\left[E - (2n + 1 - gs_z)\frac{|ehH|}{2mc}\right]},$$

причем частицы, энергия которых меньше $(1 - gs_z)\frac{|eHh|}{2mc}$, вообще не пройдут в магнитное поле. Таким образом, используя сильное магнитное поле как потенциальный барьер, можно получить полностью поляризованный пучок медленных заряженных частиц. При большей начальной энергии частиц возможна сортировка поляризованных пучков с разными значениями скорости, например по времени пролета в поле. То обстоятельство, что параллельно с сортировкой по s_z происходит сортировка по квантовому числу n, не препятствует получению пучков с полной поляризацией. Даже для электронов при $g \cong 2$ пучок с наибольшей скоростью будет полностью поляризован. Для остальных уровней электронов будет происходить наложение пучков n, $s_z = -{}^1/_2$ и $n + 1$, $s_z = {}^1/_2$. Для частиц с аномальным магнитным моментом наложение уровней не будет иметь места.

При осуществлении таких опытов могут возникнуть некоторые технические трудности, однако они не связаны с соотношением неопределенностей. Все квантовые эффекты учтены при расчете, поскольку для скорости используется точное квантовое выражение.

Поступило
21 II 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. Ф. Мотт, Г. Месси, Теория атомных столкновений, 1936, стр. 57.
[2] В. Паули, Общие принципы волновой механики, 1947, стр. 277; W. Pauli, Helv. Phys. Acta, 5, 179 (1932).