

## АНОМАЛИИ, НАБЛЮДЕННЫЕ Д.В. СКОБЕЛЬЦЫНЫМ В БЕТА-РАСПАДЕ, И НОВЫЕ РЕЗОНАНСЫ В КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

А.М. Балдин

*Предложена интерпретация экспериментов Д.В. Скобельцына по аномальному рассеянию бета-электронов. Гипотетическая нестабильная частица Скобельцына соотносится с резонансным состоянием двух электронов и позитрона. Обсуждены эксперименты по проверке предложенной модели.*

В статьях /1-3/, опубликованных более полувека тому назад, описаны загадочные явления в рассеянии бета-электронов, испускаемых радиоактивным источником ( $RaB + RaC$ ). Источник располагался вблизи камеры Вильсона. Измерялись первичный импульс ( $p_0$ ), импульс рассеянного электрона ( $p$ ) и угол рассеяния  $\theta$ . Рассеяние бета-электронов на атомах газа камеры Вильсона сильно отличалось от известного кулоновского рассеяния. Сечение рассеяния на углы  $\theta > 90^\circ$  превышало в десятки раз сечение кулоновского рассеяния и, в отличие от последнего, было в значительной степени неупругим. "Аномальное рассеяние" было связано с существенной потерей энергии. Этот эффект изучался затем в ряде работ, выводы которых оказались противоречивыми.

В 1952 году Д.В. Скобельцын /4/ исследовал данные своих экспериментов /1-3/, исходя из гипотезы о наличии в составе бета-излучения вблизи источника нестабильных частиц с массой, превышающей в несколько раз массу электрона. Назовем их для краткости S-частицами. Совокупность имевшихся экспериментальных данных можно было объяснить, допустив, что время жизни S-частиц порядка  $10^{-10}$  с, что соответствует длине пробега 10 см. Д.В. Скобельцын детально рассмотрел картину явления, проанализировал имевшиеся экспериментальные данные и пришел к выводам, которые можно изложить следующим образом.

Масса S-частицы составляет около трех масс электрона.

Если принять, что импульсы частиц  $p_0$  распределены равномерно в пределах изучаемых интервалов импульсов, то удастся описать наблюдаемое угловое распределение электронов распада.

При углах  $\theta > 90^\circ$  "рассеяние" имеет ясно выраженный неупругий характер, выявляющийся тем резче, чем больше угол  $\theta$ . По мере замедления частицы, как и следовало ожидать, изотропия углового распределения возрастает.

Кулоновское рассеяние даже для углов  $\theta > 90^\circ$  составляет малую часть наблюдаемого эффекта. Интеграл от сечения кулоновского рассеяния в исследованном интервале углов составляет примерно 10% от эффекта.

Совокупность выводов настолько значительна, что она заслуживала самого тщательного исследования и всесторонних проверок. К сожалению, исчерпывающего экспериментального исследования не было проведено за истекшие почти сорок лет. На такую ситуацию в значительной степени повлияли утверждения о том, что существование легкой заряженной частицы с массой всего в три раза больше массы электрона противоречит квантовой электродинамике.

В последнее время проблема существования узких резонансов (нестабильных частиц) в квантовой электродинамике не только стоит на повестке дня, но и получила количественное оформление. В работе /5/ при последовательном рассмотрении релятивистских связанных состояний в рамках канонической квантовой электродинамики показана возможность существования узких резонансов в системе электрон — позитрон. Фундаментальная проблема описания связанных состояний в квантовой теории поля далека от сколько-нибудь полного решения. Однако квазипотенциальный подход к проблеме, предложенный А.А. Логуновым и А.Н. Тавхелидзе /6/, позволяет преодолеть ряд неясных моментов и является естественным обобщением обычного квантово-механического подхода к теории атома. Применение этого подхода

позволило авторам работы /5/ сделать вывод о существовании в релятивистской кулоновской задаче квазистационарных уровней и объяснить на этой основе электрон — позитронные резонансы, наблюдаемые в столкновениях тяжелых ионов /7–9/. В расчетах /5/ не использовались ни радикальные гипотезы об электродинамическом конфайнменте /10/ или об аномальном электродинамическом вакууме /11/, ни модельные соображения. Не использовались также и дополнительные параметры, кроме массы электрона и постоянной тонкой структуры. Важно отметить, что резонансы с массой  $M$  большей двух электронных масс  $M > 2m$  были предсказаны не только для разноименно заряженных частиц  $(e^+, e^-)$ , но и для одноименно заряженных  $(e^-, e^-)$  и  $(e^+, e^+)$ . Работа /5/ снимает основное возражение против интерпретации Д.В. Скобельцыным /4/ своих наблюдений, поскольку в ней было показано, что существование легких частиц не противоречит квантовой электродинамике. Эти результаты наводят на мысль, что  $S$ -частицы являются резонансным состоянием двух электронов и позитрона.

Релятивистская проблема трех тел представляется необычайно сложной и детальное описание динамики трех и более электронов появится, по-видимому, не скоро. Однако многие свойства таких систем можно предсказать по аналогии с кварковыми моделями. В качестве кварков примем лептоны  $e, \mu, \tau$ . Построить множество частиц из этих кварков не представляет труда. Можно дополнить это множество состояниями из лептонов, адронов и т.д. Здесь нас интересует принципиальная сторона дела и возможность интерпретации наблюдений Д.В. Скобельцына.

Если приписать электрону аналог изотопического спина  $T = 1/2$ , то система из электронов и позитронов будет характеризоваться проекцией изотопического спина  $T_3 = Q/2$ , где  $Q$  — заряд. Состояния  $(e^-, e^-)$ ,  $(e^+, e^-)$  и  $(e^+, e^+)$ , очевидно, составляют изотопический триплет с изотопическим спином равным единице. Это означает, что узкие резонансы  $(e^+e^-)$  с массами 1–2 МэВ, обнаруженные в столкновениях ионов при низких энергиях, должны иметь двухзарядных партнеров  $(e^-e^-)$ , и  $(e^+e^+)$ .

Аналогично, у  $S$ -частицы должны существовать помимо состояния  $(e^-, e^-, e^+)$  три партнера:  $(e^+, e^+, e^-)$ ,  $(e^+, e^+, e^+)$  и  $(e^-, e^-, e^-)$ . Изотопический спин введен здесь только для классификации состояний, так как вопрос о вырождении по этой характеристике является открытым. Массы резонансов  $(e^+, e^-)$  и  $(e^-, e^-)$ , вычисленные в /5/, превышают сумму масс электронов на величины от 0,02 до 2 МэВ, т.е. сумма масс электронов, входящих в состав частицы, может оказаться не главной частью массы частицы. Поэтому расщепление масс в мультиплете может быть порядка массы электрона.

В данной модели  $S$ -частица должна распадаться на электрон и гамма-кванты. Если мода распада  $S(3/2, -1/2) \rightarrow e + \gamma$  является основной, то все кинематические расчеты Д.В. Скобельцына останутся в силе. (Он полагал, что частица распадается на электрон и нейтрино.) Можно однако ожидать, что преобладающим будет распад  $S(3/2, -1/2) \rightarrow e^- + \gamma_1 + \gamma_2$ . Это связано с тем, что, по аналогии с распадами орто- и парапозитрониев, время жизни системы, распадающейся по схеме  $S \rightarrow e^- + \gamma_1 + \gamma_2$ , должно быть на три порядка больше времени жизни системы, распадающейся по схеме  $S(3/2, -1/2) \rightarrow e^- + \gamma$ . По условиям наблюдения, большему времени жизни соответствует большая длина пробега. Исходя из этой аналогии надо полагать, что обычный спин системы, распадающейся на фотон и электрон, равен 1/2, а системы, распадающейся на электрон и два фотона, равен 3/2. Эти варианты необходимо различить экспериментально.

Из законов сохранения энергии-импульса в четырехмерной форме следует

$$n^2 = (\sqrt{p_0^2 + p^2 - 2p_0 p \cos \theta + 2k_1 k_2 (1 - \cos \alpha)} + \sqrt{1 + p^2})^2 - p_0^2.$$

Здесь  $p_0$  — импульс;  $pm$  — масса  $S$ -частицы;  $m$  — масса электрона, принимаемая за единицу массы;  $p$  — импульс электрона распада;  $k_1$  и  $k_2$  — импульсы фотонов;  $\alpha$  — угол между импульсами фотонов. Общая формула для  $n^2$  в случае однофотонного распада получается из приведенной при  $k_2 = 0$ . Таким образом, измерение  $p_0, p$  и  $\theta$  в случае однофотонного распада позволяет однозначно определить массу  $S$ -частицы. В случае двухфотонного распада такое измерение может дать только нижнюю границу  $n^2$ .

Угловое распределение электронов распада, полученное из экспериментальных данных /1–3/, удовлетворительно объясняется в работе /4/, исходя из предположения об изотропном распределении электронов распада в системе покоя  $S$ -частицы.

В общем случае, если спин S-частицы равен  $3/2$  и она распадается на  $e + \gamma_1 + \gamma_2$ , то возможны заметные отклонения от этого углового распределения. Исследования распада S-частицы в условиях, когда в конечном состоянии регистрируются помимо электрона также и фотоны, актуальны для доказательства ее электромагнитной природы и уточнения ее свойств.

Согласно [4], время жизни S-частиц  $\tau \sim 10^{-10}$  с, а согласно оценкам, основанным на данных по рассеянию позитронов на электронах, время жизни  $S_1$ -частиц, распадающихся на  $e^+$ ,  $e^-$ , оценивается как  $\tau \geq \hbar/\Gamma \sim 10^{-13}$  с. Эти оценки на много порядков больше времени жизни, например, нейтрального пи-мезона  $\tau_{\pi^0} = 0,87 \cdot 10^{-16}$  с, т.е. можно уверенно говорить о независимости процессов образования и распада S-частиц и о существовании их вне сверхсильных электромагнитных полей.

Процессы образования S-частиц в настоящее время представляются далеко неясными. Они обнаруживаются в слабых взаимодействиях, идущих на малых расстояниях  $r \lesssim 10^{-16}$  см, и при столкновении тяжелых ионов низких энергий с большими зарядами. В обоих процессах сверхсильные электромагнитные поля близки по порядку величины, и, по-видимому, играют существенную роль. Важно было бы попытаться обнаружить процессы образования S-частиц в ядерных столкновениях средних энергий в той области, где электромагнитные поля еще не должны играть определяющую роль. Можно предложить большие и относительно дешевые программы исследований новой формы распада ядер, непертурбативной квантовой электродинамики и очень большого семейства новых частиц, природа которых в принципе известна.

Автор глубоко благодарен Дмитрию Владимировичу Скобельцыну за обсуждение изложенных выше идей. Он задолго до обнаружения ( $e^+e^-$ ) резонансов многократно обращал внимание многих физиков на необходимость тщательного исследования обсуждаемых здесь проблем, но, к сожалению, не был понят.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Скобельцын Д.В. Изв. АН СССР, сер. физ., № 1-2, 75 (1938); Степанова Е., там же, с. 91.
2. Скобельцын Д.В. ДАН СССР, 21, 435 (1938).
3. Skobel'tzyn D., Stepanova E. Nature, 137, 234 (1936).
4. Скобельцын Д.В. В кн. Памяти С.И. Вавилова, изд. АН СССР, М., 1952, с. 292.
5. Арбузов Б.А. и др. Препринт НИИЯФ МГУ - 89 - 1/78, М., 1989; Письма в ЖЭТФ, 50, 236 (1989).
6. Logunov A.A., Tavkhelidze A.N. Nuovo Cim., 29, 380 (1963).
7. Cowan T. et al. Phys. Rev. Lett., 54, 1761 (1985).
8. Cowan T. et al. Phys. Rev. Lett., 56, 444 (1986).
9. Tsertos H. et al. Z. Phys. A, 326, 235 (1987).
10. Caldi D.G., Chodos A. Phys. Rev. D, 36, 2876 (1986).
11. Chodos A., Owen D.A., Sommerfield G. Phys. Lett., 212B, 491 (1988).

Поступила в редакцию 28 апреля 1990 г.