

О ВОЗМОЖНОСТИ СУЩЕСТВОВАНИЯ АДРОННЫХ ИЗОМЕРОВ

Б. Понтекорво

В настоящей статье речь идет об угловых моментах микрообъектов (скажем, молекул, атомов, атомных ядер и так называемых элементарных адронов), обладающих конечными размерами и способных иметь различные возбужденные состояния. Несмотря на резкое различие в размерах таких квантовых объектов, между ними имеется некоторое сходство. Угловой момент представляет собой произведение импульса p на радиус R . Вследствие соотношения неопределенности $p \sim R^{-1}$, так

что при рассмотрении угловых моментов возникает своеобразное подобие между квантовыми объектами, резко отличающимися по масштабам и по средним значениям энергетического расстояния уровней возбуждения. Это подобие наводит на мысль, что мы могли бы эвристически рассмотреть, что происходит с объектами известной структуры – такими как атомные ядра – для того, чтобы получить указание на то, что может произойти с объектами неизвестной структуры и меньших линейных размеров – адронами.

Гипотеза о том, что адроны состоят из партонов, может помочь нащупать аналогию, но не больше; важно то, что адроны имеют очень сложную структуру и что, несмотря на такую сложность, их уровни возбуждения хорошо разделяются.

Как известно, в атомных ядрах нередко обнаруживается метастабильность уровней, т. е. существование отдельных состояний со временем жизни, намного более продолжительным, чем времена жизни "обычных" уровней со сравнимым возбуждением. Как правило, метастабильность связана с большими угловыми моментами относительно невысоко возбужденных состояний (ядерная изомерия). В настоящее время известно громадное число ядерных изомеров, максимальное возбуждение которых равно нескольким Mev . Измеренное время жизни ядерных уровней находится в интервале от 10^{-17} до 10^{11} сек! Известны ядерные изомеры, угловые моменты которых превышают значение $J = 15$.

Почему бы не рассмотреть также большие значения J для адронов? Тогда возникает вопрос о возможности метастабильности, связанной с большими значениями J и в области адронной физики. Иными словами, существуют ли адронные изомеры? Здесь они определяются как не очень высоко возбужденные адроны, имеющие большие значения J и испускающие при распаде, скажем, пионы (или фотоны, при соответственно малом возбуждении) с временем жизни очень большим вследствие центробежного барьера.

Оказывается, трудно исключить эту возможность, опираясь на совокупность наших знаний в области адронной физики. Ограничимся двумя замечаниями.

1. Тот факт, что в настоящее время не обнаружено ни одного примера адронной изомерии, связанной с большими угловыми моментами, никак не говорит против существования этого явления. Как будет обсуждено ниже, адронные изомеры, если они существуют, по всей вероятности не могли бы быть наблюдаемы в уже выполненных опытах и могут быть найдены только при помощи специальной постановки опытов.

2. Естественно, уровни квантового объекта с высокими угловыми моментами, вообще говоря, имеют высокое возбуждение. Однако могут быть исключения. Для появления изомерии, как правило, необходимо, чтобы иногда имела место "инверсия" уровней, когда некое состояние с очень высоким угловым моментом имеет относительно малое возбуждение. В случае атомных ядер, как известно, такая "инверсия" имеет место довольно часто: она связана со структурой ядра (орбиты, магические числа, форма). В случае адронов, по-моему, ничего определенного сказать нельзя с теоретической точки зрения. Эмпирические же данные об адронных резонансах малочисленны и на их основании нельзя провести такой статистический анализ, который позволил бы

исключить инверсию уровней. Напротив, данные наводят на мысль о том, что вышеупомянутая инверсия могла бы иногда иметь место: например, хорошо известны [1] четыре пары бозонов η и η' , η_{0+} (700) и η_{0+} (1070), ω и ϕ , f (1260) и f' (1514), каждая из которых (насколько мы знаем) имеет тождественные квантовые числа, но массы, отличающиеся на несколько сотен *Мэв*. Для барионов прямо как будто видна [1] "инверсия" для N (1688) $J^P = 5/2^+$ и N (1780) $J^P = 1/2^+$, N' (1670) $J^P = 5/2^-$ и N'' (1700) $J^P = 1/2^-$, Δ (1236) $J^P = 3/2^+$ и Δ (1910) $J^P = 1/2^+$, Δ (1890) $J^P = 5/2^+$ и Δ (1910) $J^P = 1/2^+$, Λ' (1520) $J^P = 3/2^-$ и Λ' (1670) $J^P = 1/2^-$ и др. Конечно, эти обстоятельства могут быть обусловлены рядом причин и, в частности, существованием дополнительного квантового числа (типа главного квантового числа n в атомах), но во всяком случае исключить "инверсию" нельзя.

В связи с постановками опытов по поискам адронных изомеров следует остановиться на их возможных свойствах. Рассмотрим для примера двухчастичный распад адронного изомера с испусканием частиц с импульсом K . При $KR \lesssim 1$, т. е. при достаточно малом возбуждении адронного изомера (скажем, < 1 Гэв) и при достаточно больших угловых моментах времени жизни изомеров $\tau_{и}$ могут достигать значений на много порядков больше времен жизни τ обычных адронных резонансов (скажем, $\tau_{и} \gg \tau \lesssim 10^{-21}$ сек). Вследствие малой ширины адронных изомеров невозможно их обнаружение при изучении упругих столкновений двух частиц подобно тому, как изучаются, скажем барионы типа N и Δ в пион-нуклонных столкновениях. Следует искать адронные изомеры по их свойствам распада.

Естественно, сечение инклюзивных процессов образования адронного изомера, (т. е. образование изомера совместно с любыми другими адронами) незначительно при малых энергиях и может стать заметным при таких высоких энергиях, когда существенными становятся вклады парциальных волн с большими орбитальными моментами. Значение сечения образования адронных изомеров и при очень высокой энергии можно ожидать меньше сечения образования "обычных" узких адронов (таких как каоны или гипероны) с малыми величинами спина.

Из вышесказанного становится ясным, почему, даже если адронные изомеры и существуют, они до сих пор не были наблюдаемы: в области "коротких" времен жизни (скажем $\tau_{и} \lesssim 10^{-12}$ сек), когда длина до распада адронных изомеров, рождавшихся на существующих ускорителях, ненаблюдаема в пузырьковой камере, обнаружение адронных изомеров равносильно, с экспериментальной точки зрения, обнаружению обычных резонансов с малым сечением σ (очень трудно наблюдать $\sigma < 10^{-30}$ см²).

При увеличении энергии ускорителя (Серпухов, Батавия) обнаружение ядерных изомеров становится более реальной задачей не только потому, что больше вклад парциальных волн с большим орбитальным моментом, но и потому, что длина до распада может быть наблюдаема. При факторе Лоренца ~ 50 в пузырьковой камере можно обнаружить $\tau_{и} \gtrsim 10^{-12}$ сек, а в фотопластинах $\tau_{и} \gtrsim 10^{-15}$ сек. При постановке опытов поэтому следует обратить внимание на поиски "каскадных распадов" (связанные "звезды"). Последние могут оказаться довольно

характерными; если, например, адронный изомер является гипероном, его "сигнатура" могла бы состоять из трех (или больше) связанных событий (образование изомера, распада изомера с испусканием Λ -частицы, распад Λ).

Если же некоторый адронный изомер имел бы время жизни $\tau_{\text{и}} \gtrsim 10^{-9}$ сек и был бы электрически заряжен, то его наблюдали бы в уже выполненных [2] опытах при условии, что сечение его рождения больше, чем $\sim 10^{-31}$ см² и его масса была меньше, чем 2,2 Гэв.

В предыдущих работах [3] была обсуждена постановка опытов, которые в настоящее время ведутся, предназначенных для поисков новых долгоживущих частиц. При этом связанная с большими значениями J адронная изомерия не рассматривалась до сих пор в качестве возможной причины метастабильности. В этих опытах проводятся поиски "радиоактивности" квазиздра, в котором новая частица могла бы быть захваченной. В связи с этим можно задать вопрос, какова будет судьба долгоживущего адронного изомера, если он будет захвачен внутри ядра. По-видимому, можно ожидать, что адронный изомер, захваченный внутри ядра, будет испытывать явление "внутренней конверсии", подобно безмезонному распаду гиперядер. При этом процесс передачи энергии прямо нуклону ядра будет преобладать, а время жизни намного укорачивается по отношению ко времени жизни свободного изомера. Этот вопрос обсуждался в работе Кобзарев и Окуня 15 лет тому назад, когда причина метастабильности Λ -частицы еще не была твердо установлена [4].

Уже после того, когда изложенная идея была сформулирована, мне стала известна работа японских физиков [5], в которой была обнаружена частица с массой ~ 2 Гэв и временем жизни $\sim 10^{-14}$ сек. Такое значение массы настолько велико, что кажется маловероятным, что эта частица является адронным изомером в изложенном выше смысле (если не рассматривать значения $R \ll 1/m\pi$).

Поиски адронных изомеров мне представляются актуальными как на ускорителях высоких энергий, так и в космических лучах.

В заключение мне приятно поблагодарить Дж.Биоркена и К.Толстова, которые сообщили мне о японской работе, и Д.Бардина, С.Биленького, С.Герштейна, В.Гришина, В.Грибова, Л.Окуня, С.Поликанова, В.Соловьева, Д.Ширкова за обсуждения.

Объединенный институт
ядерных исследований

Поступила в редакцию
10 февраля 1972 г.

Литература

[1] См. "Review of particles Properties", Rev. Mod. Phys., April 1971.

[2] Ю.Бушнин и др. ЯФ, 10, 585, 1969.

[3] Б.Понтекорво. ЯФ, 11, 846, 1970; А.Демьянов и др. ЯФ, 13, 786, 1971.

[4] Ю.Кобзарев, Л.Окунь. ЖЭТФ, 30, 798, 1956.

[5] K.Niu, E.Mikumo. Preprint 1971.