

П И С Ь М А
В ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

ОСНОВАН В 1965 ГОДУ
 ВЫХОДИТ 24 РАЗА В ГОД

ТОМ 58, ВЫПУСК 2
 25 ИЮЛЯ, 1993

Письма в ЖЭТФ, том 58, вып.2, стр.69 - 72

©1993 г. 25 июля

О ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ВЫСОКОВОЗБУЖДЕННЫХ
 π^- -Ne АТОМОВ В СТОЛКНОВЕНИЯХ 70 ГэВ ПРОТОНОВ С
ЯДРАМИ Mg

*М.П.Гурьев, А.С.Денисов, А.В.Желамков, Ю.М.Иванов, Л.П.Лапина,
 П.М.Левченко, А.А.Петрунин, Ю.П.Платонов, А.Г.Сергеев,
 А.И.Смирнов, В.М.Суворов, О.Л.Федин*

*Институт ядерной физики РАН
 188350 Гатчина, Ленинградская обл., Россия*

Поступила в редакцию 6 мая 1993 г

Обсуждается возможность образования π^- -атомов при распаде адронных резонансов. Указано, что такой механизм должен приводить к заселению состояний с $l \neq 0$ и может быть обнаружен путем регистрации характеристического рентгеновского излучения. С помощью кристалл-дифракционного спектрометра рентгеновского излучения адронных атомов предпринята попытка измерить интенсивность $3d - 2p$ линии π^- -Ne атома, испускаемой Mg мишенью под действием пучка 70 ГэВ протонов. На уровне $\approx 2,4$ ошибок наблюден пик, соответствующий сечению $\approx 0,5$ мб. Это значение рассматривается как экспериментальное ограничение сверху на величину эффекта.

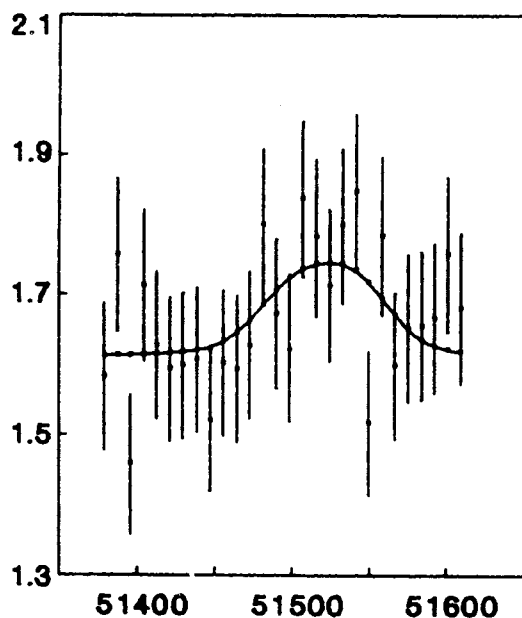
Рождение π^- -мезонов на ядрах в связанные состояния теоретически рассматривалось для реакций фоторождения [1] (γ , π^-), электророждения [2] (e , $e'\pi^-$) и "передачи пиона" [3] (n , $p\pi^-$), но пока не наблюдалось экспериментально. Предсказано, что π^- -мезоны должны рождаться преимущественно в s -состояниях (в области ядра атомные волновые функции с орбитальным моментом $l \neq 0$ малы), и исследование этих состояний возможно путем регистрации выходящей частицы.

В настоящее время утвердилась точка зрения, согласно которой при неупругом взаимодействии высокоэнергетичного протона с ядром заметная часть π^- -мезонов образуется при распаде адронных резонансов, что приводит, в частности, к обогащению мягкой части импульсного спектра вторичных частиц [4]. Легко увидеть, что в зависимости от ширины и импульса резонанса его распад может происходить на значительном удалении от ядра-остатка (например, распадная длина η -мезона может быть соизмерима с радиусом атома). Наличие

распадного промежутка делает возможным рождение π^- -мезонов с большими орбитальными моментами относительно ядра-остатка даже при малых импульсах π^- -мезона и приводит к возникновению естественного механизма заселения π^- -атомных состояний с орбитальным моментом $l \neq 0$. Разрядка таких состояний должна сопровождаться испусканием характеристического рентгеновского излучения, и оно может быть использовано в качестве сигнала.

Расчет вероятности этого процесса затруднен отсутствием подробных данных по сечениям рождения адронных резонансов. Упрощенная оценка, выполненная аналогично [5], дает для легких ядер значения порядка 0,01 мб и может служить только грубым ориентиром (оценка основана на экстраполяции в область малых импульсов экспериментальных сечений рождения π^- -мезонов и на предположении, что все π^- -мезоны с кинетической энергией, меньшей энергии связи, принятой равной 0,1 МэВ, захватываются ядром-остатком).

Вышеприведенные соображения стимулировали попытку обнаружить с помощью кристалл-дифракционного спектрометра по Кошуа в электромагнитном спектре толстой (17 см) магниевой мишени, облучаемой пучком протонов с энергией 70 ГэВ из ускорителя ИФВЭ, излучение $3d - 2p$ -перехода π^- -Ne атома (выбор Ne удобен тем, что он заведомо не содержится в мишени из чистого Mg). Расчетная энергия перехода, усредненная по изотопам Ne, была найдена численным решением уравнения Клейна-Гордона и равна 51519 эВ. Светосила спектрометра и разрешение при этой энергии равны, соответственно, $1,3 \cdot 10^{-9}$ и 34 эВ (апертура рабочего кристалла 8×8 см², толщина 1,1 мм, отражающие плоскости 130, радиус изгиба 5 м, упругая квазимозаика 14"). Подробнее экспериментальная установка, методика измерений и обработки данных и вычисления энергий переходов описаны в статьях [6,7].



Измеренный участок электромагнитного спектра Mg мишени вблизи энергии $3d - 2p$ -перехода в π^- -Ne. По оси абсцисс отложена энергия излучения в эВ, по оси ординат — число счетов на 10^{12} упавших на мишень протонов. Главная кривая соответствует фиту для случая 4 изотопов (стабильных) Ne, взятых с равным весом

Ввиду ограниченности отведенного на измерение времени набор данных проводился аналогично [7] только в одном из двух возможных положений спектрометра, отвечавших симметричному относительно плоскостей кварца от-

ражению рентгеновского излучения. Калибровка спектрометра выполнялась по гамма-линиям ^{182}Ta . На рисунке показан результат пятичасового сканирования участка спектра вблизи расчетной энергии перехода. Фитирующая кривая, проведенная через экспериментальные точки с $\chi^2/\nu = 0,72$, представляет сумму плоского фона и пика, имеющего приборную форму линии (с учетом изотопического состава Ne). Суммарная интенсивность изотопических компонент равна $0,36 \pm 0,15$ счета на 10^{12} протонов, положение пика соответствует энергии 51521 ± 14 эВ, ширина не превосходит ≈ 100 эВ. Уровень статистической значимости пика равен 98,4%. Вариация при фитировании изотопического состава Ne (до 6 изотопов с равным весом) не влияет на χ^2 .

Были исследованы возможные объяснения измеренного пика. Проверено, что никакие атомные, мезоатомные, исключая $3d-2p$ -переход $\pi^- \text{Ne}$, или гамма-линии в измеренный интервал не попадают. Среди последних единственными кандидатами, близкими по энергии (в пределах нескольких кэВ - такова точность, с которой из схем ядерных уровней определяются их энергии), согласно [8], могли бы быть гамма-переходы в ^{13}B и ^{20}F между высоковозбужденными ядерными состояниями, но вероятности этих переходов пренебрежимо малы.

Хорошее совпадение экспериментальной энергии пика с расчетной для $3d-2p$ -перехода в $\pi^- \text{Ne}$ является аргументом в пользу такой интерпретации. Положив неупругое сечение взаимодействия $p+\text{Mg}$ равным 373 мб, введя поправки на толщину мишени и зная светосилу спектрометра, по интенсивности линии можно найти, что сечение образования $\pi^- \text{Ne}$ атома должно в этом случае составлять $\approx 0,5$ мб. По форме линии можно заключить, что доплеровское уширение (ядра-остатки имеют импульс отдачи) не может превышать ≈ 100 эВ, и поэтому кинетическая энергия $\pi^- \text{Ne}$ -атома в момент испускания $3d-2p$ -фотона должна быть меньше ≈ 10 кэВ. Поскольку начальная кинетическая энергия ядра Ne должна быть порядка 1 МэВ (см., например, [9]), мы приходим к заключению, что $\pi^- \text{Ne}$ -атом должен жить достаточно долго, чтобы успеть замедлиться, что возможно только в случае начального заселения состояний с большими квантовыми числами. Это, в свою очередь, предполагает, что эффективный источник π^- -мезонов должен заметно перекрываться с соответствующими атомными волновыми функциями и, следовательно, должен превосходить ядерные масштабы, что согласуется с качественно рассмотренным в начале статьи механизмом рождения пионных атомов при распаде адронных резонансов. Возможное возражение против интерпретации пика как $\pi^- \text{Ne}$ -линии, связанное с малостью расчетного сечения, может быть снято, если принять во внимание грубость расчета и неизученность сечений рождения π^- -мезонов в кинематической области $p_{\pi^-} < 5$ МэВ/с, существенной для проведенного эксперимента.

Наконец, нельзя исключить возможность объяснения измеренного пика статистической флуктуацией: ее вероятность равна $\approx 1,6\%$. Именно по этой причине мы считаем, что полученное нами значение 0,5 мб следует рассматривать как экспериментальное ограничение сверху на сечение образования высоковозбужденного $\pi^- \text{Ne}$ атома в результате столкновения 70 ГэВ протона с ядром Mg.

1. C.Tzara, Nucl. Phys. B 18, 246 (1970).

2. В.Ф.Дмитриев, Письма в ЖЭТФ **14**, 124 (1971); J. Nieves and E.Oset, Phys. Rev. **43C**, 1937 (1991).
3. H.Toki and T.Yamazaki, Phys. Lett. **213B**, 129, (1988).
4. В.С.Мурзин, Л.И.Сарычева, Взаимодействия адронов высоких энергий, М.: "Наука", 1983.
5. Che Ming Ko, Particles and Nuclei-Tenth International Conf., Book of Abstracts, p.J4, 1984, Heidelberg.
6. А.С.Денисов, А.В.Желамков, Ю.М.Иванов и др., Письма в ЖЭТФ **54**, 557 (1991).
7. М.П.Гурьев, А.С.Денисов, А.В.Желамков и др., Письма в ЖЭТФ **57**, 389 (1993).
8. R.J.De Meijer et al., Atom. Data and Nucl. Data Tables **13**, 1 (1974); R.J.De Meijer et al., Atom. Data and Nucl. Data Tables **15**, 391 (1975).
9. L.Winsberg et al., Phys. Rev. **22C**, 2108 (1980).