

ОДИНАРНАЯ ПЕРЕЗАРЯДКА π^{\pm} -МЕЗОНОВ И СПЕКТРОСКОПИЯ ЛЕГКИХ ЯДЕР

Т.И.Коналейшвили

В недавно опубликованной работе [1] одинарную перезарядку π^{\pm} -мезонов на легких ядрах предполагалось использовать для получения информации о πp -корреляции в ядре. По мнению автора работы [1] для этого следует использовать дифференциальное сечение перезарядки $A(\pi^{\pm}, \pi^0)B$, просуммированное по всем возможным состояниям конечного ядра, т.е. следует использовать правила сумм для дифференциального сечения.

По нашему мнению процесс одинарной перезарядки π^{\pm} -мезонов может быть использован так же для спектроскопических целей. В данной работе мы обсудим такую возможность в случае легких ядер, для которых изоспин T (играющий в нашем рассуждении важную роль) является достаточно хорошим квантовым числом. Для стабильных легких ядер, в основном состоянии, как известно $T = 0$ или $1/2$. И поэтому, ядро B , получаемое в реакции $A(\pi^{\pm}, \pi^0)B$ будет характеризоваться значением изоспина T_B на единицу большим, чем изоспин ядра A (T_A). Ясно, что образование ядра B в различных энергетических состояниях будут соответствовать, вообще говоря, разные максимумы в энергетическом спектре π^0 -мезонов. Следует ожидать, что характер этого спектра будет зависеть от угла вылета π^0 -мезона. Исследуя спектр π^0 -мезонов и их угловое распределение, в принципе можно будет получить сведения о тех возбужденных состояниях ядра мишени A , которые характеризуются значением изоспина на единицу большим чем изоспин основного состояния. Очевидно, что для получения такой информации нужно чтобы: 1) сечение реакции было бы достаточно большим, 2) разрешение по энергиям π -мезонов (особенно π^0 -мезонов) было бы достаточно хорошим. А что касается углового распределения π^0 -мезонов, по-видимому его сравнительно легко измерять.

Для иллюстрации вышесказанного в качестве примера рассмотрим перезарядку π^+ и π^- -мезонов на ядре He^4 ($T = 0, J^{\pi} = 0^+$) с образованием ядер Li^4 и H^4 соответственно в определенных энергетических состояниях. Этот пример выбран по той причине, что, во-первых, вопрос существования возбужденных состояний четырехнуклонной системы последнее время вызывает большой интерес и во вторых, для рассматриваемых нами ядер и состояний имеются экспериментальные данные [2].

Кроме того, для интересующих нас уровней имеются результаты теоретических расчетов [3, 4], которыми мы можем пользоваться. В наших расчетах используем результаты работы [4], так как волновые функции, полученные в этой работе более удобны для наших целей.

Согласно работе [4] волновые функции определенных состояний ($J^{\pi}T$) представляются в виде:

$$|J^{\pi}T, M_J M_T\rangle = \sum_{N[f](\lambda\mu)_{\alpha LS}} C_{N[f](\lambda\mu)_{\alpha LS}}^{JT} \sum_{M_L M_S} (L S M_L M_S | J M_J) \times \\ \times |A N[f](\lambda\mu)_{\alpha L S T M_L M_S M_T}\rangle, \quad (1)$$

где $N[f](\lambda\mu)_{\alpha L S T}$ – совокупность квантовых чисел, характеризующая состояние ядра. $C_{N[f](\lambda\mu)_{\alpha LS}}^{JT}$ коэффициенты определяемые в результате диагонализации энергетической матрицы. Так как для рассматриваемых нами состояний квантовое число α принимает одно значение, в дальнейшем его будем опускать.

$J^{\pi}T=1$	$E_{\text{экс}}, \text{Мэв}$	$E_{\text{теор}}, \text{Мэв}$	$C_{1[31](10)11}^{JT}$	$C_{1[31](10)10}^{JT}$
2 ⁻	24,5	25,0	1	0
1 ⁻	25,9	28,1	0,770	0,638
0 ⁻	27,7	27,5	1	0
1 ⁻	29,7	31,3	-0,638	0,770

Результаты расчетов [4], интересующих нас состояний, проведенные с потенциалом Табакина [5] для $\hbar\omega = 18 \text{ Мэв}$ показаны в таблице вместе с экспериментальными данными [2]. Энергии отсчитаны от основного состояния ядра He^4 .

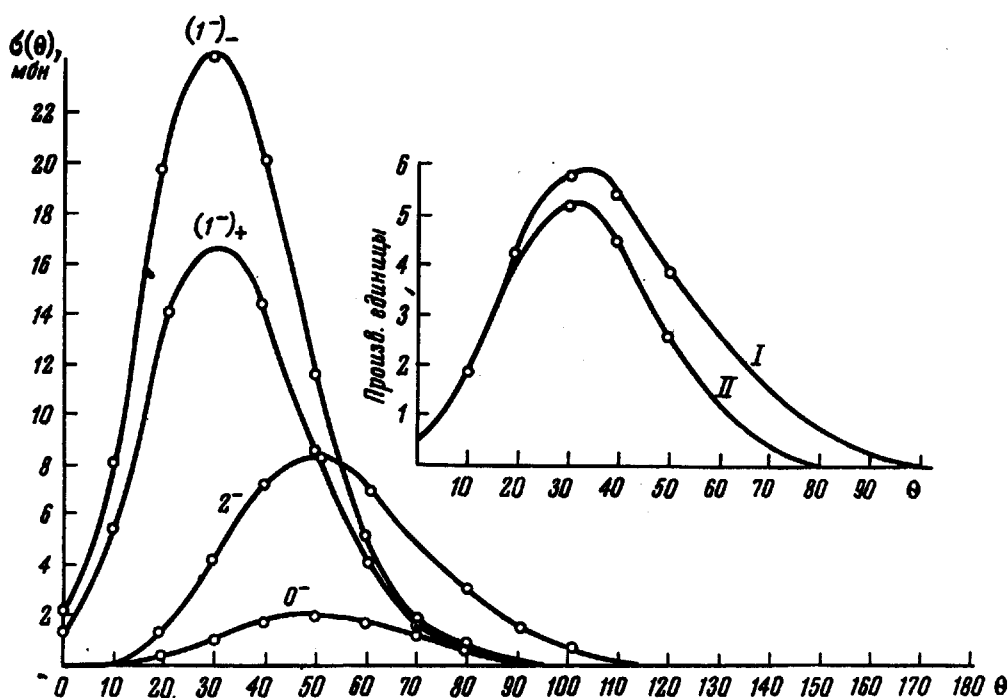
Для оператора перезарядки π^{\pm} -мезонов T^{\pm} используем выражение, приведенное в работе [1]

$$T^{\pm} = \pm 2\pi \frac{(\hbar c)^2}{3\sqrt{E_{k_0} E_k}} \sum_{\sigma=1}^A \{ \mathcal{C}^{l(k-k_0)}_{r^{\pm}(2k_0, k-i\sigma)} [k_0, k] \Delta(k_0) \}_{\sigma} = \\ = \sum_{\sigma=1}^A f_{\sigma}^{\pm}, \quad (2)$$

где каждый член суммы описывает πN -рассеяние в области (3,3) резонанса; k , E_k и k_0 , E_{k_0} – волновые вектора и энергии π^{\pm} и π^0 -мезонов

соответственно, r^{\pm} и $\hat{\sigma}$ — известные изоспиновые и спиновые операторы нуклона, $\Delta(k_0)$ — величина, зависящая от фазы πN -рассеяния в области резонанса и согласно работе [6] может быть параметризирована как функция k_0 .

Используя выражения (1) и (2) легко можно рассчитать дифференциальное сечение реакции $He^4(\pi^+, \pi^0)Li^4$ с возбуждением отдельных уровней ядра Li^4 . На рисунке приведены кривые дифференциальных сечений этой реакции с возбуждением указанных на них уровней ядра Li^4 . Из рисунка видно, что при $\theta \lesssim 10^\circ$ в основном возбуждаются уровни $(1^-)_-$ и $(1^-)_+$, а вероятности возбуждения уровней 2^- и 0^- практически



Угловое распределение π^0 -мезонов в реакции $He^4(\pi^+, \pi^0)Li^4$

равны нулю. Такой результат легко понять, если принять во внимание вид оператора (2) и структуру состояний, приведенных в таблице. Спин (S_0) и орбитальный момент (L_0) основного состояния ядра He^4 , как известно равны нулю, а спин конечного ядра (S_b) в состояниях 2^- и 0^- , как видно из таблицы, равен единице. Поэтому возбуждение этих уровней возможно только при переворачивании спина отдельных нуклонов в

начальном ядре, испытывающие перезарядку. За этот процесс ответственен второй член выражения (2), что и приводит к характерной зависимости при малых θ , $\sigma(\theta) \approx \sin^2 \theta$. Возбуждение же уровней $(1^-)_-$ и $(1^-)_+$ идет как с переворачиванием спина ($S_b = 1$), так и без ($S_b = 0$), а за последним процессом ответственен первый член выражения (2), приводящий $\sigma(\theta) \approx \cos^2 \theta$ при малых θ .

Таким образом, измеряя спектр π^0 -мезонов в реакциях $\text{He}^4(\pi^+, \pi^0)\text{Li}^4$ при $\theta \lesssim 10^\circ$ и обнаружив наличие максимума в этом спектре при $\approx (26 - 30) \text{ МэВ}$, мы можем утверждать, что он соответствует возбуждению уровней $(1^-)_-$ и $(1^-)_+$. К сожалению разделить эти два уровня в настоящее время вряд ли будет возможным, так как во-первых их естественные ширины порядка 5 МэВ [2], во-вторых — точность измерения энергии π^\pm -мезонов того же порядка и сравнима с расстоянием между этими уровнями.

Теперь обсудим вопрос о том, каким образом можно получить сведения о наличии уровней 2^- и 0^- у ядер $A = 4$ на основе исследования реакции $\text{He}^4(\pi^+, \pi^0)\text{Li}^4$. С этой целью рассмотрим угловые распределения π^0 -мезонов соответствующие возбуждению всех перечисленных выше уровней и возбуждению только уровней $(1^-)_-$ и $(1^-)_+$. Они приведены на рисунке в виде кривых I и II соответственно. Как видим кривая II почти симметрична относительно угла 30° в то время, как кривая I явно асимметрична. Эта асимметрия вызвана вкладом соответствующим возбуждению уровней 2^- , 0^- . Таким образом, если на эксперименте обнаружится заметная асимметрия в угловом распределении π^0 -мезонов относительно 30° можно ее приписать возбуждению уровней 2^- и 0^- . В принципе, полученную экспериментальную кривую можно разложить по кривым изображенных на рисунке и соответствующих возбуждению отдельных уровней, и тем самым определить относительные вклады, вносимые ими в полное дифференциальное сечение.

Следует отметить, что проведенное выше рассуждение предполагало, что у ядер с $A = 4$ в рассматриваемой области энергии ($\lesssim 30 \text{ МэВ}$) нет других уровней с $T = 1$, кроме рассмотренных. По-видимому, такая ситуация и имеет место в действительности [2 - 4].

Из рассмотренного примера видно, что одинарная перезарядка π^\pm -мезонов при энергиях вблизи (3,3) резонанса на легких ядрах в принципе может быть использована для получения спектроскопической информации о ядре. Для этого следует использовать такие характеристики этого процесса, как угловое распределение π^0 -мезонов, и их спектр

при определенных углах рассеяния. Как видно из рисунка, эти процессы идут с достаточно большой вероятностью.

В заключении приношу свою благодарность Н.С.Амаглобели, Р.Г.Салуквадзе и другим участникам семинара НИЛЯФ ТГУ за обсуждения и ценные замечания.

Тбилисский
государственный университет

Поступило в редакцию
5 июля 1968 г.

Литература

- [1] J. M. Eisenberg. Nucl. Phys., В3, 387, 1967..
- [2] W. E. Meyrhof. Труды проблемного симпозиума по физике ядра. Тбилиси, апрель, 1967. М., 1967, Т-1, стр.87; И.Я.Барит. Труды проблемного симпозиума по физике ядра. Тбилиси, апрель, 1967, М., 1967, Т-1, стр. 97.
- [3] A. De Shalit, J. D. Walecka. Phys. Rev., 147, 763, 1966;
B. R. Barrett. Phys. Rev., 154, 955, 1967; А.М.Бадалян, Е.С.Гальперн, В.Н.Ляховицкий, В.В.Пустовалов, Ю.А.Симонов, Е.Л.Сурков. ЯФ, 6, 473, 1967; И.Ш.Вашакидзе, В.И.Мамасахлисов. ЯФ, 6, 732, 1967.
- [4] Г.Ш.Гогсадзе, Т.И.Копалейшвили. ЯФ, 8, вып. 5, 1968.
- [5] F. Tabakin. Ann. Phys., 30, 51, 1964.
- [6] J. M. Mckinley. Rev. Mod. Phys., 35, 788, 1963.