

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



PI - 7888

К.Д.Толстов

A21

ОЦЕНКА СЕЧЕНИЯ
КОГЕРЕНТНОЙ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАЦИИ ПИОНОВ
В СТОЛКНОВЕНИЯХ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР

1974

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Ранг публикаций Объединенного института ядерных исследований

Препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований /ОИЯИ/ являются самостоятельными публикациями. Они издаются в соответствии со ст. 4 Устава ОИЯИ. Отличие препринтов от сообщений заключается в том, что текст препринта будет впоследствии воспроизведен в каком-либо научном журнале или аperiodическом сборнике.

Индексация

Препринты, сообщения и депонированные публикации ОИЯИ имеют единую нарастающую порядковую нумерацию, составляющую последние 4 цифры индекса.

Первый знак индекса - буквенный - может быть представлен в 3 вариантах:

“Р” - издание на русском языке;

“Е” - издание на английском языке;

“Д” - работа публикуется на русском и английском языках.

Препринты и сообщения, которые рассылаются только в страны-участницы ОИЯИ, буквенных индексов не имеют.

Цифра, следующая за буквенным обозначением, определяет тематическую категорию данной публикации. Перечень тематических категорий изданий ОИЯИ периодически рассылается их получателям.

Индексы, описанные выше, проставляются в правом верхнем углу на обложке и титульном листе каждого издания.

Ссылки

В библиографических ссылках на препринты и сообщения ОИЯИ мы рекомендуем указывать: инициалы и фамилию автора, далее - сокращенное наименование института-издателя, индекс, место и год издания.

Пример библиографической ссылки:

И.И.Иванов. ОИЯИ, Р2-4985, Дубна, 1971.

Pi - 7888

К.Д.Толстов

**ОЦЕНКА СЕЧЕНИЯ
КОГЕРЕНТНОЙ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАЦИИ ПИОНОВ
В СТОЛКНОВЕНИЯХ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР**

В настоящем сообщении предполагается, что принятая схема рождения частиц в столкновениях e^-p , через взаимодействие виртуального фотона, может быть распространена на столкновения релятивистских ядер. Начальный этап для ядер, аналогично e^-p -столкновениям, есть электромагнитный процесс, обусловливаемый наличием зарядов у сталкивающихся частиц. При столкновении ядер виртуальный фотон взаимодействует с одним из нуклонов ядра мишени или налетающего ядра аналогично тому, как это происходит в e^-p -столкновениях.

Кардинальным является предположение, что виртуальный фотон возникает за счет когерентного действия всего заряда ядра, протоны которого только транспортируют этот заряд. Для этого когерентного процесса электрогенерации при столкновении ядер далее предполагается справедливость масштабной инвариантности, распространенной впервые на столкновения ядер А.М.Балдиным и подтвержденной в опытах по генерации пионов дейтронами ^{1/}.

В модели виртуальных фотонов для e^-p -столкновений используется диаграмма рис. 1 и следующие обозначения:

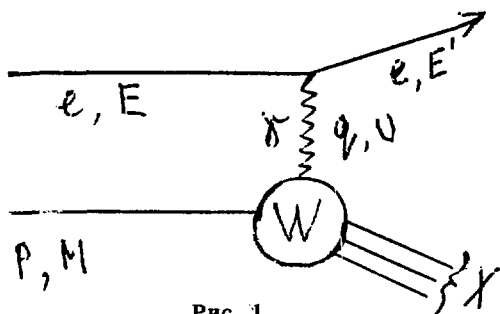


Рис. 1

q - четырехмерный импульс виртуального фотона, ν - энергия виртуального фотона в лабораторной системе, E - начальная энергия электрона, E' - конечная энергия электрона, θ - угол рассеяния электрона, W - полная энергия в системе центра масс виртуальный фотон-протон.

$$W^2 = M^2 + q^2 + 2\nu M, \quad /1/$$

$$-q^2 = 4EE' \cdot \sin^2 \frac{\theta}{2}.$$

Произведем оценку сечения и энергии пионов, генерируемых при столкновении ядер с зарядами $Z_1 = Z_2$, на основе диаграммы, аналогичной показанной на рис. 1, используя данные по электрогенерации π^+ -мезонов в $e^- p$ -столкновениях из /2/. На рис. 2 из этой работы приведен релятивистский инвариант:

$$E \frac{d^3 \sigma}{dP^3} = \frac{E}{\pi} \frac{d^2 \sigma}{dP_{\parallel} dP_{\perp}^2} = \frac{E^*}{\pi P_{\max}^*} \frac{d^2 \sigma}{dx dP_{\perp}^2} \quad /2/$$

как функция параметров W , q^2 , P_{\perp}^2 , σ_{tot} - полного сечения электрогенерации и $x' = P_{\parallel}^* / [(P_{\max}^*)^2 P_{\perp}^2]^{\frac{1}{2}}$. P_{\parallel}^* есть компонента импульса пиона в системе центра масс в направлении импульса виртуального фотона, а P_{\max}^* - максимальный импульс пиона. С уменьшением P_{\perp}^2 $x' \rightarrow x$. ($x = P_{\parallel}^* / P_{\max}^*$).

Далее отметим, что чем больше $\nu = E - E'$ и меньше $|q^2|$, тем меньше разница в кинематических соотношениях для виртуального и реального фотонов с одинаковой энергией, так как уменьшается зависимость W от q^2 .

При постоянных E' и q^2 с ростом E уменьшается угол рассеяния электрона θ , а следовательно, и угол между импульсами начального электрона и виртуального фотона, т.к. равны поперечные импульсы рассеянного электрона и виртуального фотона. Следовательно, с ростом E сближаются траектории виртуального фотона и первичного электрона.

Согласно рис. 2, при $W = 2,14 \text{ ГэВ}$; $-q^2 = 1,2$ и $0 \leq P_{\perp} \leq 0,02$ релятивистский инвариант $\frac{E}{\sigma_{\text{tot}}} \frac{d^3\sigma}{dP^3}$ ра-

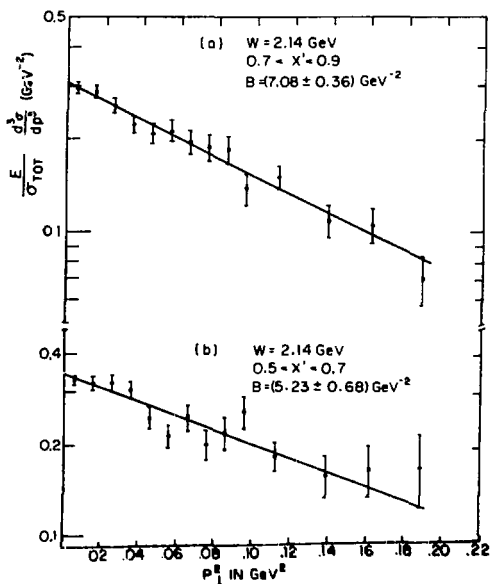


Рис. 2

вен $\sim 0,3$ для $0,7 < x' < 0,9$ и $\sim 0,35$ для $0,5 < x' < 0,7$.
 Предположив, что $0,35\sigma_{tot}$ является средней вели-

чиной $E \frac{d^3\sigma}{dP^3}$ в интервале $0,3 \leq x' \leq 0,9$, можно получить
 нижнюю оценку величины $\frac{d\sigma}{dP_{\perp}^2}$, согласно /2/, проинтег-
 рировав $\frac{E^*}{\pi P_{max}^*} \frac{d^2\sigma}{dx dP_{\perp}^2} = 0,35\sigma_{tot}$ по $dx = dx'$, откуда:

$$\frac{d\sigma}{dP_{\perp}^2} \approx \frac{\pi P_{max}^*}{E^*} \sigma_{tot} \cdot 0,21. \quad /3/$$

Из формулы /1/ для выбранных значений W и q^2 получим
 $\nu = 2,62$ ГэВ. Максимальная энергия π^+ -мезона в системе
 центра масс E^* равна:

$$E^* = \frac{W^2 + M_n^2 - m_n^2}{2W}, \quad /4/$$

где M_n - масса нейтрона. Получим $E^* = 1,27$ ГэВ.

Перейдем в предположении масштабной инвариантно-
 сти к оценке дифференциального сечения и энергии π^+ -ме-
 зона при столкновении ядра с зарядом $Z=20$ и с энер-
 гией 20 ГэВ на нуклон с одинаковым ядром. Примем,
 что энергия виртуального фотона равна νZ , а ν , $-q^2$ и
 $\langle x \rangle$ имеют ранее использованные значения: $2,62$ ГэВ;
 $1,2$ ГэВ и $0,6$ соответственно. Тогда получим:

$$W_Z^2 = M^2 + q^2 + 2\nu ZM = 96,24 \text{ ГэВ}^2.$$

Энергия π^+ -мезона в системе центра масс виртуальный
 фотон-протон E_{π}^* будет равна:

$$E_{\pi}^* = \frac{W_Z^2 + M_n^2 - m_{\pi}^2}{2W_Z} = 4,95 \text{ ГэВ}.$$

В системе центра масс $\beta_{\pi}^* = 0,9996$; $P_{\pi}^* = 4,948$ ГэВ/с.
 $\langle P_{\pi}^* \rangle = \langle x \rangle P_{\pi}^* = 4,948 \cdot 0,6 = 2,97$ ГэВ/с. Скорость системы
 центра масс β_c найдем, используя W -массу этой сис-
 темы и полную энергию в лабораторной системе $\Sigma = \nu Z + M$:
 $\beta_c = 0,983$.

Используем соотношение /3/ в предположении справедливости масштабной инвариантности при переходе от /2/ к /3/ /аналогично e^-p - столкновениям/ для взаимодействия виртуального фотона, возникающего за счет когерентного действия всего заряда ядра. Тогда дифференциальное сечение вылета π^+ -мезона в с.ц.м. под углом θ_π^* при малых углах получим заменой

$$dP_\perp^2 \approx \frac{2}{\pi} (P^*)^2 d\Omega. \quad /5/$$

Из /3/ и /5/ будем иметь:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega^*} = 2 \frac{(P^*)^3}{E^*} \sigma_{tot} \cdot 0,21.$$

Найдем интервал углов вылета π^+ -мезона в с.ц.м. при ранее выбранных условиях: $0 \leq P_\perp^2 \leq 0,02$; $0 \leq \text{tg} \theta_\pi^* \leq P_\perp / 0,6 P^*$. Получим $0 \leq \theta_\pi^* \leq 2^\circ 44'$. Переходя в лабораторную систему, будем иметь: $0 \leq \theta_\pi \leq 15'$; $P_\pi = 52 \text{ ГэВ}/c$.

$$\frac{d\sigma}{d\Omega_\pi} = 1234 \sigma_{tot} / \text{ср}. \quad /6/$$

Полное сечение электрогенерации $-\sigma_{tot}$ может быть оценено на основе формулы двойного дифференциального сечения для рассеянного электрона, согласно /3/,

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega' dE'} = \frac{4a^2(E')^2}{q^4} [2W_1(\nu, q^2) \sin^2 \frac{\theta}{2} + W_2(\nu, q^2) \cos^2 \frac{\theta}{2}],$$

в которой при малых углах θ можно пренебречь членом $\text{с } W_1$.

$$W_2 = \frac{W^2 - M^2}{8\pi^2 a M} \cdot \frac{q^2}{q^2 + \nu^2} [\sigma_T(\nu, q^2) + \sigma_S(\nu, q^2)],$$

причем при $-q^2 \rightarrow 0$ $\sigma(\nu, q^2) \rightarrow 0$, а $\sigma_T(\nu, q^2) \rightarrow \sigma_T(0)$, где $\sigma_T(\nu)$ есть полное сечение поглощения реального фотона. Следовательно, в этих приближениях:

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega' dE'} = \frac{a(E')^2}{2\pi^2 M q^2} \frac{W^2 - M^2}{q^2 + \mu^2} \sigma_T(0) \cos^2 \frac{\theta}{2}. \quad /7/$$

После преобразования, пренебрегая в /7/ членом $\frac{q^4}{8(E E')^2}$ по сравнению с $q^2/E E'$ и интегрируя по θ в пределах $0 \leq \theta \leq \arccos(1 + \frac{q^2}{2 E E'})$,

получим:

$$\frac{d\sigma}{dE'} = \frac{\alpha E' (W^2 - M^2)}{2\pi E (q^2 + \nu^2)} \sigma_T(\nu). \quad /8/$$

Для определения σ_{tot} проинтегрируем /8/ по dE' в пределах от E до E' и оставим основной член, тогда:

$$\sigma_{tot} = \frac{\alpha \sigma_T(0) (W^2 - M^2)}{\pi E} \left[\ln \frac{E^2 - q^2 - 2EE' + E'^2}{-q^2} \right]. \quad /9/$$

Подставляя в /9/ $E' = \frac{1}{2} E$; $-q^2 = 0,1$; $E = 400$; W - в соответствии с /3/ и беря по данным /5/ $\sigma_T(0)$ равным 100 мкбарн, получим: $\sigma_{tot} \sim 3$ мкбарн. Используя это значение в /6/, будем иметь в лабораторной системе:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega_\pi} = 3,7 \text{ мкб/ср.}$$

/Отметим, что в работе /6/ получена формула для сечения кулоновской генерации частиц при столкновении протонов с ядрами:

$$\sigma = \frac{3z^2 e^4}{4\pi m^2 c^4} \left[\ln \frac{2P/m_\pi}{[(M_{min}^2/m_\pi)^2 - (M/m_\pi)^2] A^{1/3}} \right],$$

согласно которой сечение генерации пионов протонами с энергией 20 ГэВ на ядре кальция составит ~ 230 мкбарн/.

В проведенном расчете получена верхняя оценка сечения, т.к. не было учтено влияние формфактора протона /ядра/, который действует в сторону снижения сечения. Однако влияние формфактора уменьшается с уменьшением $|q^2|$, и наоборот, сечение электрогенерации $-\sigma_T$ увеличивается /в по данным /7/ монотонно/ с уменьшением $|q^2|$.

В работе /8/, при совпадающих с использованными в нашем расчете значениями $W, -q^2 / 2,15 \text{ ГэВ}$ и $1,188 \text{ ГэВ}^2/c^2$ показан рост дифференциального сечения $\frac{d\sigma}{d\Omega \pi^2}$ в $\sim 2,5 \pm 0,15$ раза при переходе к $-q^2 = 0,396$.

Наиболее критичным для сделанной оценки сечения является, однако, не формфактор, а предположение о когерентном действии протонов и пионов в модели виртуального фотона, проверка чего представляет самостоятельный интерес.

Литература

1. А.М.Балдин. Сборник "Краткие сообщения по физике", т. 1, изд. АН СССР, 1971;
А.М.Балдин, Н.Георденеску и др. Сообщение ОИЯИ, P1-5819, Дубна, 1971.
2. С.У.Бабек et al. *Phys.Rev.Lett.*, 30, 624 (1973).
3. F.W.Brass et al. *Nucl.Phys.*, 39B, 421 (1972).
4. Proc. 1971 Int. Symp. on Electron and Proton Inter., p. 191. Corn. Univ. (1971).
5. K.Berkelman. XVI Int. Conf. on High-Energy Physics, v. 4, p. 41 (1972).
6. M.L.Good, W.D.Walker. *Phys.Rev.*, 120, 1855 (1960).
7. C.Driver, K.Heinloth et al. *Phys.Lett.*, 35B, 77 (1971).
8. C.C.N.Brown, C.R.Canizares et al. *Phys.Rev.Lett.*, 26, 987 (1971).

Рукопись поступила в издательский отдел
23 апреля 1974 года.

Тематические категории публикаций Объединенного института ядерных исследований

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория физики твердого тела

Нет ли пробелов в Вашей библиотеке?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги

13-3700	Материалы симпозиума по наносекундной ядерной электронике. Дубна, 1967.	726 стр. 10 р. 07 к.
Д-3893	Сообщения участников Международного симпозиума по структуре ядра. Дубна, 1968.	192 стр. 3 р. 76 к.
P1-3971	Нуклоны и пионы. Материалы I Международного совещания по нуклон-нуклонным и пион-нуклонным взаимодействиям. Дубна, 1968.	294 стр. 3 р. 17 к.
2-4816	Векторные мезоны и электромагнитные взаимодействия. Дубна, 1969.	588 стр. 6 р.
16-4888	Дозиметрия излучений и физика защиты ускорителей заряженных частиц. Дубна, 1969.	250 стр. 2 р. 64 к.
3-4891	Лекции по нейтронной физике. Летняя школа, Алушта, 1969.	428 стр. 5 р. 49 к.
Д-5805	Международная конференция по аппаратуре в физике высоких энергий. Дубна, 1971. 2 тома.	882 стр. 14 р. 74 к.
Д1-5969	Труды Международного симпозиума по физике высоких энергий. Дрезден, 1971.	772 стр. 7 р. 69 к.
Д-6004	Бинарные реакции адронов при высоких энергиях. Дубна, 1971.	768 стр. 7 р. 60 к.
Д13-6210	Труды VI Международного симпозиума по ядерной электронике. Варшава, 1971.	372 стр. 3 р. 67 к.
Д10-6142	Труды Международного симпозиума по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер. Дубна, 1971.	564 стр. 6 р. 14 к.
Д1-6349	Труды IV Международной конференции по физике высоких энергий и структуре ядра. Дубна, 1971.	670 стр. 6 р. 95 к.
Д-6465	Международная школа по структуре ядра. Алушта, 1972.	525 стр. 5 р. 85 к.

- Д10-7707 Сопоставление по программированию и 564 стр. 5 р. 57 к.
математическим методам решения
физических задач, Дубна, 1973.
- 13 7154 Пропорциональные камеры. Дубна, 173 стр. 2 р. 20 к.
1973.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79,
издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

Условия обмена

Препринты и сообщения ОИЯИ рассылаются бесплатно, на основе взаимного обмена, университетам, институтам, лабораториям, библиотекам, научным группам и отдельным ученым более 50 стран.

Мы ожидаем, что получатели изданий ОИЯИ будут сами проявлять инициативу в бесплатной посылке публикаций в Дубну. В порядке обмена принимаются научные книги, журналы, препринты и иного вида публикации по тематике ОИЯИ.

Единственный вид публикаций, который нам присылать не следует, - это репринты /оттиски статей, уже опубликованных в научных журналах/.

В ряде случаев мы сами обращаемся к получателям наших изданий с просьбой бесплатно прислать нам какие-либо книги или выписать для нашей библиотеки научные журналы, издающиеся в их странах.

Отдельные запросы

Издательский отдел ежегодно выполняет около 3 000 отдельных запросов на высылку препринтов и сообщений ОИЯИ. В таких запросах следует обязательно указывать индекс запрашиваемого издания.

Адреса

Письма по всем вопросам обмена публикациями, а также запросы на отдельные издания следует направлять по адресу:

*101000 Москва,
Главный почтамт, п/я 79.
Издательский отдел
Объединенного института
ядерных исследований.*

Адрес для посылки всех публикаций в порядке обмена, а также для бесплатной подписки на научные журналы:

*101000 Москва,
Главный почтамт, п/я 79.
Научно-техническая библиотека
Объединенного института
ядерных исследований.*

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Заказ 18068. Тираж 600. Уч.-изд. листов 0,47.
Редактор Н.Н. Зрелова. Подписано к печати 13/У1-74 г.