

2

Р118402904

ИТЭФ -134



ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

Б.М.АБРАМОВ, И.А.ДУХОВСКОЙ, Т.И.ИСАЕВ^{*)},
В.В.КИШКУРНО, А.П.КРУТЕНКОВА, В.В.КУЛИКОВ,
М.А.МАЦЮК, П.А.МУРАТ, И.А.РАДКЕВИЧ,
Е.Н.ТУРДАКИНА

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ
ИНКЛЮЗИВНЫХ РЕАКЦИЙ
 $p^{-}A \rightarrow p^{+}X$
НА ИЗОТОПАХ ЛИТИЯ
ПРИ 2,6 ГЭВ/С

*) МОСКВА 1983
ВИАМ

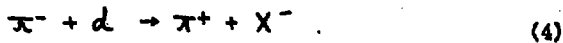
В одинаковых экспериментальных условиях измерены дифференциальные сечения инклюзивных реакций $\pi^- \text{Li} \rightarrow \pi^+ X$ и $\pi^- \text{Li} \rightarrow \pi^+ X$ в жесткой части импульсного спектра π^+ -мезонов. Проведено сравнение разности полученных сечений с разностью сечений реакций $\pi^- p \rightarrow \pi^+ X$ и $\pi^- d \rightarrow \pi^+ X$. Обнаружено, что в области $M_X^2 = (E_{\pi^-} - E_{\pi^+} + m_p)^2 - (\vec{p}_{\pi^-} - \vec{p}_{\pi^+})^2 < 1,5 \text{ ГэВ}^2$ значения обеих разностей совпадают в пределах экспериментальных погрешностей, тогда как для $M_X^2 > 1,5 \text{ ГэВ}^2$ разность сечений на изотопах лития близка к нулю, в отличие от заметной разности сечений на водороде и дейтерии.

Введение

Проведен анализ дифференциальных сечений реакций



в жесткой части импульсного спектра π^+ -мезонов. Сечения измерены в одинаковых экспериментальных условиях при первичном импульсе 2,6 ГэВ/с. Интерес к сравнительному изучению этих процессов возник в связи с проведенным нами [1-4] последовательным реакцией двойной перезарядки π^- -мезона на водороде и дейтерии



Для реакции (4) существует кинематическая область квадратов недостающих к π^+ -мезону масс

$$((m_p + m_\pi)^2 = 1,16) \leq M_X^2 \leq ((m_p + 2m_\pi)^2 = 1,48) \text{ ГэВ}^2, \quad (5)$$

где двойная перезарядка π^- -мезона на нейтроне запрещена и процесс может происходить только на протоне. (Здесь и в дальнейшем $M_X^2 = (p_1 + p_2 - p_3)^2$, где p_1 , p_2 и p_3 - четырех-

импульсы π^- -мезона, протона и π^+ -мезона; $p_d = (m_p, 0)$. Дифференциальное сечение реакции (4) в области (5) оказалось на $\sim 15\%$ меньше сечения реакции на свободном протоне (3). Наблюдавшаяся разница в сечениях связана с эффектом экранирования протона нейтроном в дейтроне /2/. В области $M_x^2 > 1,5 \text{ ГэВ}^2$ разность сечений реакций (4) и (3) приблизительно равна сечению на связанном нейтроне. Средняя величина ее в интервале $1,5 < M_x^2 < 2,5 \text{ ГэВ}^2$ оказалась почти на порядок меньше средней величины сечения реакции (3) в этой области /3/.

Так же как дейтрон по сравнению с протоном, ядро ${}^6\text{Li}$ по сравнению с ядром ${}^7\text{Li}$ содержит один дополнительный нейтрон. Поэтому можно было бы ожидать, что эффекты, подобные наблюдавшимся нами при изучении разности сечений реакций (3) и (4), проявятся и при сравнении сечений реакций (1) и (2).

Методика эксперимента

Изучение процессов (1) и (2) было выполнено на 3-метровом магнитном спектрометре ИТЭФ /5/ с оптическими покрывными камерами. Схема расположения аппаратуры, принцип ее работы и назначение отдельных элементов описаны в /6/. В эксперименте измерялись углы и импульсы начального и конечного пионов. Для выделения π^+ -мезонов использовался газовый пороговый черенковский счетчик. Мишени из ${}^6\text{Li}$ (с изотопным составом 90,4% ${}^6\text{Li}$ и 9,6% ${}^7\text{Li}$) и ${}^7\text{Li}$ (естественная смесь изотопов: 7,52% ${}^6\text{Li}$ и 92,48% ${}^7\text{Li}$) представляли собой сплошные цилиндры длиной 9,5 см и диаметром 8 см. Каждая из мишеней была помещена в оправу из нержавеющей стальной фольги и укреплена на диске, при повороте которого нужная мишень подводилась под пучок. Смена мишеней производилась через камеру гасящую фотографии. Трижды за экспозицию производилось фотографирование треков пучковых частиц в магните (по ~ 500

фотографий). Это позволило уточнить среднюю амплитуду пучка χ -мезонов и определить точность измерения спектрометром импульса пучковых χ^- -мезонов $\Delta p/p \approx \pm 0,6\%$. Полученное значение $\Delta p/p$ соответствует разрешению спектрометра по M_x^2 $\Delta(M_x^2) \approx \pm 0,03 \text{ ГэВ}^2$.

Фотографии были обмерены на автоматическом сканирующем устройстве ПСП-2 /7/ ИГЭФ, связанном в линию с БЭСМ-6, и затем обработаны по программам, осуществлявшим автоматический просмотр материала /8/, восстановление геометрической картины событий /9/ и построение гистограмм /10/.

Полностью прошло через программы обработки и вошло в окончательные гистограммы 19308 событий на χ_i^- и 20688 - на χ_i^+ . На рис.1а,б представлены измеренные распределения по переменной M_x^2 (для удобства сравнения с полученными ранее в /2/ результатами).

Для вычисления дифференциальных сечений были определены геометрическая эффективность установки и поправка к сечению $(1,15 \pm 0,03)$, учитывающая фон от пустой мишени ($\sim 9\%$), поглощение частиц в веществе аппаратуры ($\sim 12\%$) и мишени ($\sim 5\%$), примесь μ^- -мезонов и электронов в пучке χ^- -мезонов ($\sim 5\%$), неэффективность электроники и сцинтилляционных счетчиков ($\sim 1\%$). Процедура анализа событий и вычисления сечений подробно описана в работе /6/. Геометрическая эффективность установки Ω^* , имеющая смысл телесного угла регистрации χ^+ -мезона в системе центра масс реакции (3), была рассчитана на ЭВМ методом Монте-Карло /10/. Соответствующая кривая показана на рис.1; точность расчета $\sim 5\%$ для проанализированной области M_x^2 . Видно, что правая граница распределения по M_x^2 определяется ходом кривой эффективности.

Экспериментальные результаты

Зависимости дифференциальных сечений $d^2\sigma/d\Omega^* dM_x^2$ реакций (1) и (2) в расчете на ядро приведены на рис.2 (ошибки

статистические). Систематическая ошибка приведенных сечений оценивается нами в $\sim 10\%$. Вблизи порога реакции двойной перезарядки на связанном протоне ($1,16 \text{ ГэВ}^2$) наблюдается резкий рост сечения, с максимумом вблизи $1,5 \text{ ГэВ}^2$, за которым следует пологий спад при больших M_x^2 . Внизу на рис.2 показана зависимость от M_x^2 среднего значения квадрата поперечного импульса $\overline{p_T^2}$ π^+ -мезона, регистрируемого установкой, которое изменяется в пределах от $\sim 0,003$ до $\sim 0,015 \text{ (ГэВ/с)}^2$. Как видно из рис.2, различие сечений реакций (1) и (2) проявляется только при $M_x^2 < 1,5 \text{ ГэВ}^2$.

На рис.3 представлена разность сечений реакций (2) и (1) в зависимости от M_x^2 (ошибки статистические). Систематическая ошибка разности практически сведена к минимуму за счет полной идентичности условий регистрации реакций (1) и (2), а также частой (~ 40 раз за экспозицию) смены мишеней. Из рис.3 видно, что в области $M_x^2 < 1,5 \text{ ГэВ}^2$ величина разности сечений отрицательна. Это свидетельствует о том, что в ^3Li эффект экранирования протонов больше, чем в ^4Li . Относительная величина добавочного по сравнению с ^4Li экранирования протонов в ^3Li , которую можно определить как

$$\delta_{\sigma_{\text{Li}}} = (\sigma_{\text{Li}} - \sigma_{\text{Li}}) / \sigma_{\text{Li}}, \quad (6)$$

оказывается равной $\delta_{\sigma_{\text{Li}}} = 0,105 \pm 0,024$. Это значение получено для интервала $1,24 \leq M_x^2 \leq 1,44 \text{ ГэВ}^2$, уменьшенного по сравнению с (5) для того, чтобы не учитывать сдвиг пороговых значений M_x^2 для реакции (3) и реакции



из-за фермиевского движения нуклонов. (Значение ферми-импульса для лиганды $p_F \approx 0,1 \text{ ГэВ/с}$ получено на основании данных работы /11/).

На рис.3 приведена также разность сечений реакций (4) и (3), вытекающая из работы /3/. Вызывает удивление то обстоятельство, что в пределах экспериментальных ошибок эта разность совпадает с разностью сечений реакций (2) и (1).

Для качественного объяснения наблюдаемого совпадения воспользуемся квазидвухчастичной моделью и представим ядро ${}^A_Z X_i$ в виде суперпозиции двух кластеров ${}^A_Z X_i$ и n . В этой модели связь дифференциальных сечений реакций (1), (2) и (7) можно представить в виде

$$\sigma_{\alpha_i} = \sigma_{\alpha_i} (1 - \delta_{\alpha_i}) + \sigma_n (1 - \delta_n), \quad (8)$$

где δ_{α_i} и δ_n - поправки, связанные с экранированием "входного" в ${}^A_Z X_i$ кластера ${}^A_Z X_i$ "дополнительного" нейтрона и с экранированием "дополнительного" нейтрона ядра ${}^A_Z X_i$ кластером ${}^A_Z X_i$, соответственно. Поправка на экранирование протона в дейтроне δ_p может быть приближенно записана в виде $\delta_p \approx \sigma_n^{in} / 2\pi R_d^2$ (см. работу /3/), где σ_n^{in} - сечение неупругого πN - взаимодействия, а параметр R_d характеризует размер дейтрона. Аналогично запишем $\delta_{\alpha_i} \approx \sigma_n^{in} / 2\pi R_{X_i}^2$, где R_{X_i} характеризует размер ядра ${}^A_Z X_i$. Используя значения глауберовского параметра дейтрона $\langle r^{-2} \rangle_d = 0,27$ ферми⁻² (см. например /2/) и зарядового среднеквадратичного радиуса ядра ${}^A_Z X_i$ $\sqrt{\langle r^2 \rangle} = 2,35$ ферми /12/, получим $(\delta_p / \delta_{\alpha_i})_{теор.} \approx R_{X_i}^2 / R_d^2 \approx 1,5$. Эта величина согласуется со значением отношения экспериментальных величин $(\delta_p / \delta_{\alpha_i})_{эксп.} = (0,154 \pm 0,016) / (0,105 \pm 0,024) = 1,47 \pm 0,37$. (Значение δ_p взято из работы /4/).

Что касается совпадения величин разностей дифференциальных сечений реакций (2), (1) $(\sigma_{\alpha_i} - \sigma_{\alpha_i})$ и (4), (3) $(\sigma_4 - \sigma_3)$,

то в соответствии с формулой (8) и на основании величины σ_{χ_2} настоящей работы и σ_p из работы /3/ можно получить

$$(\sigma_{\chi_2} - \sigma_{\chi_1}) / (\sigma_d - \sigma_p) = \sigma_{\chi_2} \cdot \delta_{\chi_2} / \sigma_p \cdot \delta_p \approx 1,7 \cdot (\delta_{\chi_2} / \delta_p) \approx 1. \quad (9)$$

Таким образом, в рамках квазидвухчастичной модели имеется объяснение наблюдаемому совпадению разностей $(\sigma_{\chi_2} - \sigma_{\chi_1})$ и $(\sigma_d - \sigma_p)$.

Интересно, что среднее значение разности сечений реакций (2) и (1) при $M_x^2 > 1,5 \text{ ГэВ}^2$, $((-6,35) \text{ мкб/ср.ГэВ}^2)$, в отличие от процессов (4) и (3), в пределах ошибок сравнимо с нулем (см. рис.3). В рамках эйковальной модели многократного рассеяния /13/ можно было бы ожидать для различных дифференциальных сечений реакций (1) и (2)

$$\sigma_{\chi_2} - \sigma_{\chi_1} =$$

$$(Z_{\text{эфф}\chi_2} - Z_{\text{эфф}\chi_1}) \cdot \sigma_p + (N_{\text{эфф}\chi_2} - N_{\text{эфф}\chi_1}) \cdot \sigma_w = \quad (10)$$

$$(Z_{\text{эфф}\chi_2} - Z_{\text{эфф}\chi_1}) \cdot \sigma_p + \left(\frac{2}{3} Z_{\text{эфф}\chi_2} - Z_{\text{эфф}\chi_1}\right) \cdot \sigma_w = -0,27 \sigma_p + 0,29 \sigma_w,$$

где σ_p и σ_w - сечения реакций (3) и (7), $Z_{\text{эфф}\chi_i} = 1,98$ ($N_{\text{эфф}\chi_i}$) и $Z_{\text{эфф}\chi_i} = 1,71$ ($N_{\text{эфф}\chi_i}$) - эффективное число протонов (нейтронов) в ядрах χ_i и χ_i , полученное по формулам из работы /13/. Используя значения σ_p и σ_w из /3/, можно получить, что для $M_x^2 > 1,5 \text{ ГэВ}^2$ величина разности сечений реакций (2) и (1) меньше, чем соответствующая разность для процессов (4) и (3), и может быть близка к нулю.

Отметим, что вышеприведенные рассуждения носят сугубо качественный характер и для уточнения механизмов исследованных яв-

лений необходимо произвести детальные расчеты. Количественный анализ полученных данных, а также уточнение экспериментальных результатов представляло бы несомненный интерес в связи с исследованием пространственно-временной картины рассеяния адронов на ядрах /14/.

Заключение

1. В одичаковых экспериментальных условиях измерены дифференциальные сечения реакций двойной перезарядки Ξ^- -мезона на ${}^6\text{Li}$ и ${}^7\text{Li}$ при 2,6 ГэВ/с в жесткой части импульсного спектра Ξ^+ -мезонов.

2. Определена разность указанных сечений и проведено сравнение этой разности с разностью сечений реакций двойной перезарядки Ξ^- -мезона на водороде и дейтерии. Обнаружено, что в области $M_{\Xi}^2 < 1,5 \text{ ГэВ}^2$ значения (без разностей) совпадают в пределах экспериментальных погрешностей, тогда как для $M_{\Xi}^2 > 1,5 \text{ ГэВ}^2$ разность сечений на изотопах лития близка к нулю в отличие от заметной разности сечений на водороде и дейтерии.

Авторы благодарят И.А.Кондратика за интерес к работе и обсуждения полученных результатов.

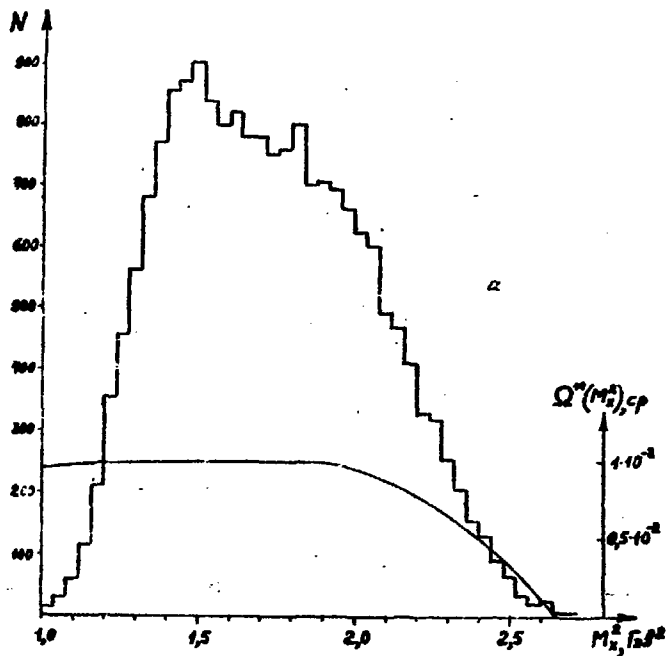
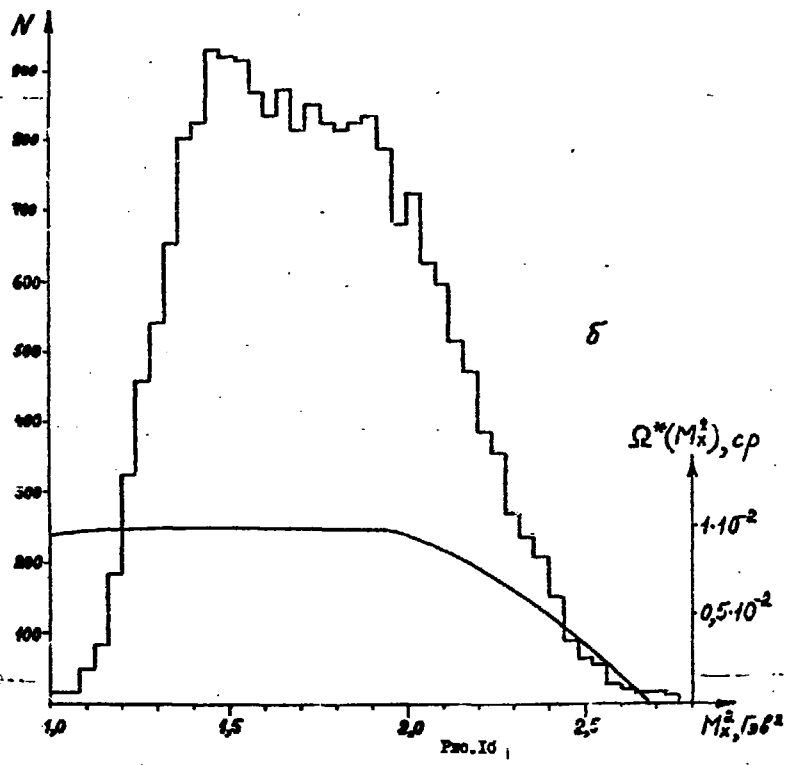


Рис. 1. Распределение по квадрату недостающей массы в реакциях $\pi^- \pi^+ \rightarrow \pi^+ X$ (19308 событий) (а) и $\pi^- \pi^+ \rightarrow \pi^+ X$ (20688 событий) (б) при 2,6 ГэВ/с (гистограмма). Здесь $M_X^2 = (E_X - E_{X^+} + m_p)^2 - (\beta_X - \beta_{X^+})^2$. Сплошные кривые $Q^*(M_X^2)$ - эффективный телесный угол регистрации π^+ -мезона в системе центра масс реакции $\pi^+ \pi^- \rightarrow \pi^+ X$.



Прог. 10

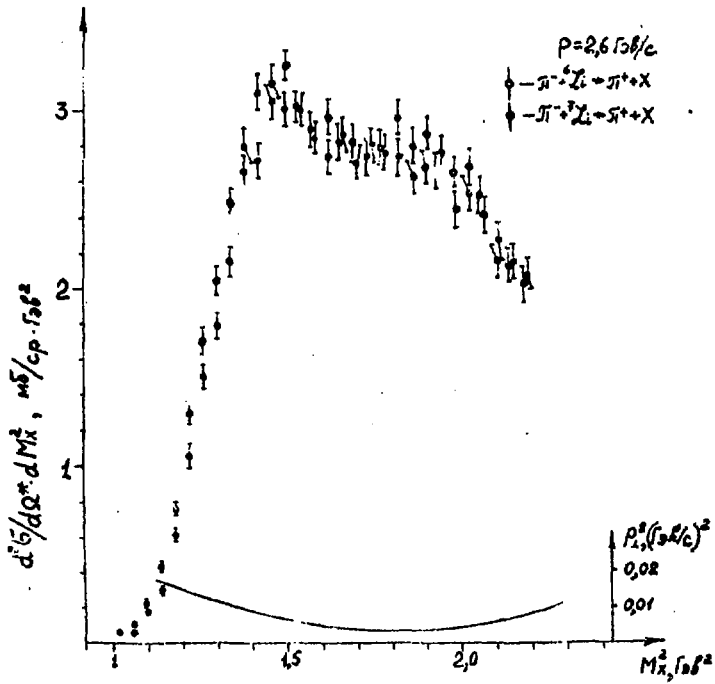


Рис. 1. Зависимость сечений реакций $\pi^- \Lambda_i^0 \rightarrow \pi^+ X$ (\circ) и $\pi^- \Lambda_i^0 \rightarrow \pi^- X$ (\bullet) от M_X^2 при 2,6 ГэВ/с. Сплошной линией внизу показана зависимость $\overline{R_1^2}$ от M_X^2 .

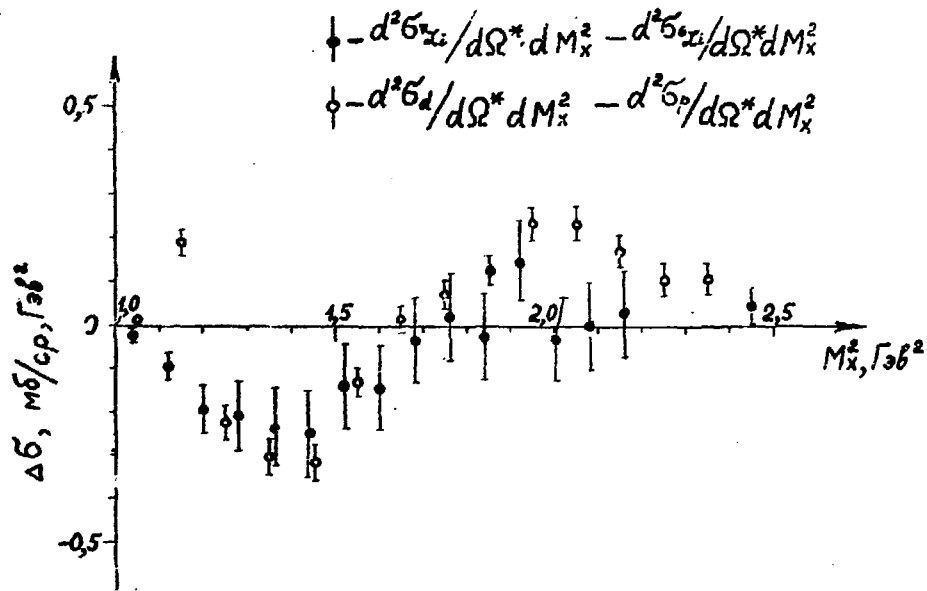


Рис.3. Зависимость от M_x^2 разности дифференциальных инклюзивных сечений реакций $\pi^- \Sigma_i \rightarrow \pi^+ X$ и $\pi^- \Sigma_i \rightarrow \pi^+ X$ (+), а также $\pi^- d \rightarrow \pi^+ X$ и $\pi^- p \rightarrow \pi^+ X$ (○).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А б р а м о в Б.М. и др. Измерение эффекта экранирования протона в дейтроне в реакции двойной перезарядки пикона. - Письма в ЖЭТФ, 1976, т.24, вып.4, с.262-264.
2. А б р а м о в В.М. с.а. Measurement of the proton screening correction in a deuteron for reactions $\pi^+ p(d) \rightarrow \pi^+ X^-$. - Nucl.Phys., 1979, v.1157, # 2, p.189-196.
3. А б р а м о в Б.М. и др. Сечение процессов $\pi^+ p \rightarrow \pi^+ X^-$ и $\pi^- d \rightarrow \pi^+ X^-$ и поправки на экранирование протона. В об.: Труды IX конференции молодых ученых ЕРФИ. Брест 1980, с.52-57.
4. А б р а м о в Б.М. и др. Об эффекте экранирования протона в дейтроне в реакции двойной перезарядки π^- -мезона. - Ядерная физика, 1981, т.33, вып.3, с.733-736.
5. Д у х о в с к о й И.А. и др. 3-метровый магнитный спектрометр. - ПТЭ, 1974, # 3, с.235.
6. Б о р о д и н Ю.А. и др. Установка для исследования реакций с большой передачей импульса. М., Препринт ИТЭФ, 1973, # 53, с.1-25.
7. Х у р к и н В.В. и др. Структура и основные режимы работы системы обработки фильмовой информации (СОФИ). - ПТЭ, 1980, # 4, с.70-72.
8. Б о р о д и н а И.Н. Программа обработки снимков трехметрового магнитного спектрометра с искровыми камерами на автоматическом устройстве (типа НРД) ПСП-1 ИТЭФ. В об.: Труды международного симпозиума по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер. Дубна, препринт ОИЯИ, 1971, # Д10-6142, с.316-341.
9. Б а л о ш и н О.Н. и др. Восстановление геометрической картины событий на 3-метровом магнитном спектрометре. М., Препринт ИТЭФ, 1974, # 15, с.1-32.
10. К и ш к у р н о В.В. и др. Программы статистической обработки данных с 3-метрового магнитного спектрометра. М., Препринт ИТЭФ, 1973, # 42, с.1-34.

- И. Антуфьев В.П. и др. Реакция (e, ep) на ядре дейтерия и изотопах лития. В сб.: Взаимодействие частиц высокой энергии с ядрами. Выпуск II. М.: Атомиздат, 1974, с.24-29.
12. Bushnell F.A. et al. Elastic Electron Scattering from ${}^6\text{Li}$ and ${}^7\text{Li}$ at Low Momentum Transfer. - Phys.Rev., 1972, v. 25, N 2, p.391-395.
13. Абрамов Б.М. и др. Исследование сечения процесса (\mathcal{E}, ρ) в зависимости от атомного номера ядра при энергии ~ 1 ГэВ. - Письма в ЖЭТФ, 1977, т.25, вып.2, с.123-127.
14. Николаев Н.Н. Взаимодействия частиц высокой энергии с ядрами. В сб.: Элементарные частицы. Седьмая школа физики ИТЭФ. Выпуск II. М.: Атомиздат, 1980, с.5-37.

Б.М.Абрамов и др.

Сравнительное изучение неэластичных реакций $\text{P}^+ \text{A} \rightarrow \text{P}^+ \text{A}$ на изотопах лития при 2,6 ГэВ/с.

Редактор И.Н.Домакина

Корректор О.И.Ольховникова

Работа поступила в ОНТИ 5.08.83

Подписано к печати 15.08.83. Т17399 Формат 60x90 1/16
 Offset печ. Усл.-печ.л.0,75. Уч.-изд.л.0,5. Тираж 290 экз.
 Заказ 134. Индекс 3624 Цена 7 коп.

Отпечатано в ИТЭФ, И17259, Москва, Б.Черемушкинская, 25

7 КОП

ИНДЕКС 3624

М., ПРЕПРИНТ ИТЭФ, 1983, № 134, с.1-13