

ПОЛЯРИЗАЦИЯ Ξ^- , РОЖДЕННЫХ ИНКЛЮЗИВНО НЕЙТРОНАМИ

А.Н.Алеев, В.А.Арефьев, В.П.Баландин, В.К.Бердышев,
В.К.Бирулев, Н.В.Власов, Т.С.Григалашвили, Б.Н.Гуськов,
А.И.Зинченко, И.И.Евсиков, И.М.Иванченко, И.Н.Какурин,
М.Н.Капишин, Н.Н.Карпенко, Д.А.Кириллов, И.Г.Косарев,
В.Р.Крастев, Н.А.Кузьмин, М.Ф.Лихачев, А.Л.Любимов,
А.Н.Максимов, А.Н.Морозов, П.В.Мойсенз, В.В.Пальчик,
А.В.Поле, А.Прокеш, Л.А.Слепец, М.Смижанска,
Г.Г.Тахтамышев, П.Т.Тодоров, К.Хиллер, А.С.Чвыров,
В.Д.Чолаков

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

А.А.Локтионов, В.Б.Слюсарева

Институт физики высоких энергий АН КазССР, Алма-Ата

Ю.Клабун, З.Новак, Х.Новак, Х.-Э.Рызек

Институт физики высоких энергий АН ГДР, Берлин - Цойтен

А.С.Белоусов, Я.Л.Ваздик, Е.Г.Девицын, М.В.Завертяев,
В.А.Козлов, Е.И.Малиновский, В.В.Павловская,
С.Ю.Поташев, С.В.Русаков, Н.А.Смирнов, Ю.В.Соловьев,
А.Р.Теркулов, А.М.Фоменко, Л.Н.Штарков

Физический институт им.П.Н.Лебедева АН СССР, Москва

Т.Б.Проголова, Е.А.Чудаков

Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ,
Москва

М.Вецко, Я.Гладки, М.Новак

Физический институт ЧСАН, Прага

В.И.Заячки

Высший химико-технологический институт, София

Д.Т.Бурилков, П.К.Марков, Р.К.Траянов

Институт ядерных исследований и ядерной энергетики БАН,
София

Л.И.Абашидзе, Л.Н.Абесалашвили, Н.С.Амаглобели,
В.П.Джорджадзе, Н.О.Кадагидзе, Р.А.Кватадзе,
В.Д.Кекелидзе, Н.Л.Ломидзе, Г.В.Мелитаури,
Г.И.Никобадзе, Т.Г.Пицхелаури, Г.Т.Татишвили,
М.С.Чаргейшвили, Р.Г.Шанидзе

Институт физики высоких энергий ТГУ, Тбилиси

В эксперименте, проведенном на серпуховском ускорителе с помощью спектрометра БИС-2, измерена поляризация Ξ^- , рожденных инклюзивно нейтронами со средним импульсом ~ 40 ГэВ/с. Ξ^- зарегистрированы в кинематической области $0 < P_T < 1,3$ ГэВ/с при $\langle X \rangle = 0,45$ и поляризованы отрицательно $/-0,3 \pm 0,2/$ вдоль нормали к плоскости их рождения, определяемой векторным произведением импульсов первичного нейтрона и Ξ^- в лабораторной системе. Измерен параметр асимметрии распада $\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 \pi^-$: $\alpha(\Xi^-) = -0,48 \pm 0,16/$. Измеренная поляризация согласуется с поляризацией Λ^0 , измеренной в этом же эксперименте, а также с поляризацией Ξ^- , образованных протонами с импульсом 400 ГэВ/с, но противоположна по знаку поляризации Ξ^- , рожденных отрицательными каонами с импульсом 5 ГэВ/с.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Polarization of Ξ^- Produced Inclusively by Neutrons

A.N.Aleev et al.

Polarization of Ξ^- produced inclusively by neutrons with 40 GeV/c mean momentum has been measured in an experiment performed using the BIS-2 spectrometer of the Serpukhov accelerator. The Ξ^- have been accepted in a kinematic region of $0 < P_T < 1,3$ GeV/c at $\langle X \rangle = 0,45$ and are polarized negatively (0.3 ± 0.2) along the normal to the production plane which is defined by a vector product of neutron and Ξ^- momenta in the lab. coordinate system. The $\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 \pi^-$ decay asymmetry parameter has been measured as well: $\alpha(\Xi^-) = (0.48 \pm 0.16)$. The Ξ^- polarization measured is in agreement with the Λ^0 polarization obtained in this experiment and with the polarization of Ξ^- produced by 400 GeV protons, but is opposite in sign to the polarization of Ξ^- produced by 5 GeV negative kaons.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Экспериментально обнаруженное явление поляризации гиперонов, рожденных инклюзивно неполяризованными адронами высоких энергий, интенсивно исследуется последнее десятилетие как теоретически, так и экспериментально. К настоящему времени накоплены всесторонние экспериментальные данные по

поляризации Λ^0 , рожденных в пучках разнообразных адронов на различных мишенях в широком диапазоне энергий. Установлено, что поляризованы Λ^0 , которые образованы в процессах фрагментации первичного адрона, а знак и величина их поляризации зависят от кваркового состава фрагментирующего адрона. Поляризация других гиперонов, Σ и Ξ , исследована не так подробно. Интерес представляют данные по поляризации инклюзивно рожденных Ξ , поскольку они имеют отличающийся от Λ^0 кварковый состав. Такие данные важны для развития представлений о явлении поляризации гиперонов и о механизмах адронизации.

В настоящей работе приведены первые результаты измерения поляризации Ξ^- , рожденных инклюзивно в нейтрон-ядерных взаимодействиях. Результаты по изучению поляризации Λ^0 и Λ^0_+ , полученные в этом же эксперименте, опубликованы в /1-3/. Эксперимент выполнен с помощью спектрометра БИС-2, расположенного на нейтральном канале ^4H серпуховского ускорителя. Пучок канала состоит в основном из нейтронов с импульсами от 20 до 70 ГэВ/с при среднем эффективном значении 40 ГэВ/с.

На рис.1 приведена схема размещения на канале основной, базовой конфигурации спектрометра БИС-2. В последних сеансах эксперимента эта конфигурация была незначительно изменена, в основном за счет включения в состав спектрометра черенковских счетчиков, которые в данной работе не использовались. Спектрометр регистрировал вторичные заряженные частицы, рожденные в результате взаимодействия нейтронов пучка с углеродной, алюминиевой или медной мишенями /Т/. Всего в течение эксперимента было зарегистрировано $\sim 2,3 \cdot 10^7$ нейтрон-ядерных взаимодействий, большинство из которых было получено в экспозициях с углеродной мишенью. На рис.1 обозначена также система координат, в которой проводилась геометрическая реконструкция и анализ событий. Центр системы координат соответствовал центру межполюсного зазора спектрометрического магнита М, а ось OZ совпадала с осью и направлением падающего пучка нейтрона. Ось OY направлена параллельно оси магнитного поля, знак которого в различных сеансах эксперимента менялся. Ось OX выбрана таким образом, чтобы все три оси образовывали правую ортогональную систему координат. Все детекторы спектрометра расположены симметрично относительно плоскости XOZ.

Более детальное описание спектрометра и условий проведения эксперимента приведено в /4/.

Изучалась поляризация Ξ^- , рожденных инклюзивно в нейтрон-ядерных взаимодействиях и регистрируемых по каскадному распаду:

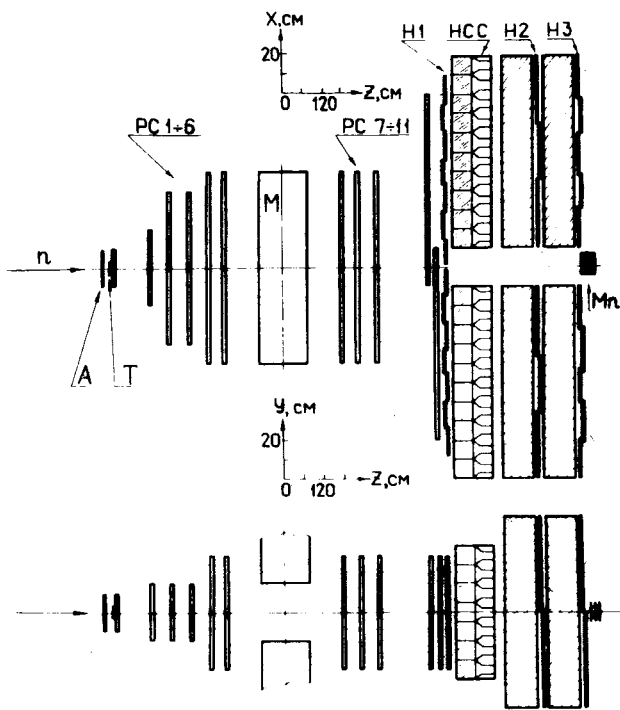
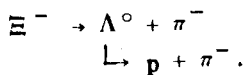


Рис. 1. Схема расположения аппаратуры БИС-2 на канале $4H$ серпуховского ускорителя: А - сцинтилляционный счетчик антисовпадения; PC/1-11/ - пропорциональные камеры; H1, H2 и H3 - годоскопы сцинтилляционных счетчиков; Mn - счетчик мониторинга нейтронов; HCC - годоскоп черенковских счетчиков полного поглощения /в данной работе не использовался/.



/1/

Высокая разрешающая способность спектрометра по углу и импульсу частиц позволила надежно выделить распады $\Lambda^0 \rightarrow p\pi^-$. Эти распады идентифицировались по инвариантным массам $M(p\pi^-)$ реконструированных нейтральных вилок, спектр которых содержал характерный пик в области массы Λ^0 . Полная ширина пика на его полувысоте, равная $4,5 \text{ МэВ}/c^2$, ха-

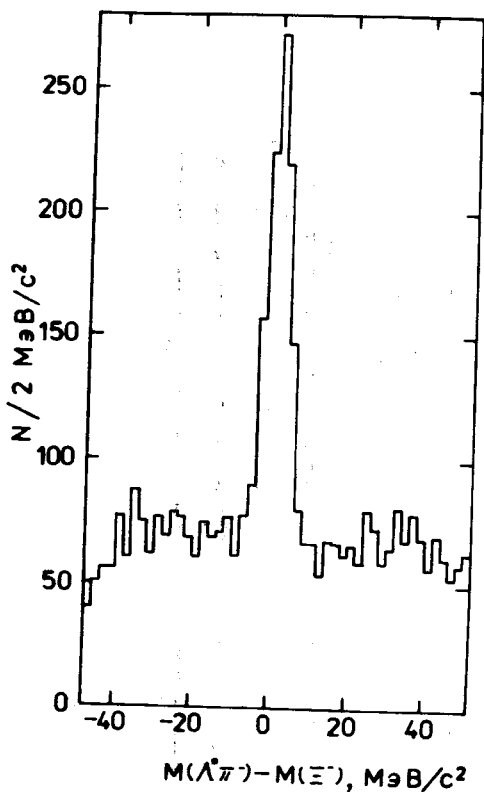


Рис.2. Спектр инвариантных масс $M(\Lambda^0 \pi^-)$ в области массы Ξ^- .

характеризует разрешающую способность спектрометра по массе Λ^0 . При выделении распадов $\Lambda^0 \rightarrow p \pi^-$ требовалось, чтобы инвариантная масса $M(p \pi^-)$ соответствующей нейтральной вилки отличалась от массы Λ^0 не более чем на 7 МэВ/с^2 . Всего было выделено $\sim 1,6 \cdot 10^5$ распадов $\Lambda^0 \rightarrow p \pi^-$.

Для поиска распадов $\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 \pi^-$ были отобраны события, содержащие Λ^0 и не менее одной отрицательно заряженной частицы h^- , которые удовлетворяют геометрии каскадного распада. При этом требовалось, чтобы минимальное расстояние между траекториями Λ^0 и h^- , образующими вершину распада Ξ^- , не превышало 1 см ,

а эта вершина отстояла от центра мишени не менее чем на 10 см по направлению пучка. Требовалось также, чтобы разность Z-координат восстановленных вершин распадов Λ^0 и Ξ^- была не меньше чем 10 см . Среди кандидатов в Ξ^- отбирались такие, импульс которых не превышал 28 ГэВ/с . Это ограничение обусловлено тем, что при больших значениях импульса существенно возрастает доля фоновых событий. На рис.2 приведен спектр инвариантных масс $M(\Lambda^0 \pi^-)$ для событий, которые удовлетворяют перечисленным условиям. В области массы $M(\Xi^-) = 1321,3 \text{ МэВ/с}^2$ виден четкий пик, соответствующий зарегистрированным распадам /1/. Полная ширина пика на его полувысоте характеризует разрешающую способность спектрометра по соответствующей массе и равна 8 МэВ/с^2 . В событиях из области пика и соседних областей практически отсутствует комбинаторный фон. Для изучения поляризации Ξ^- было отобрано 1267 событий из интервала масс $\pm 8 \text{ МэВ/с}^2$ от $M(\Xi^-)$. Для оценки доли фоновых событий среди них уровень событий в спектре справа и слева от пика, из интервала

$$8 < |M(\Lambda^0 \pi^-) - M(\Xi^-)| < 40 \text{ МэВ/с}^2,$$

/2/

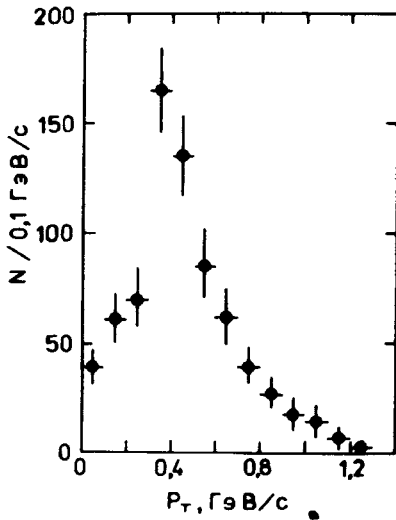


Рис.3. Распределение зарегистрированных Ξ^- по P_T .

экстраполировался линейно в область под пиком. Доля фона среди отобранных событий составила $44 \pm 2\%$. Этот фон обусловлен в основном событиями, в которых Λ^0 образован в мишени одновременно с образованием в той же вершине нескольких заряженных частиц, но общая вершина Λ^0 и одной из заряженных частиц (h^-) ошибочно восстановлена за пределами мишени. Незначительная доля фона обусловлена наличием

событий, содержащих Λ^0 и генерированную программой траекторию h^- , образующих общую вершину, а также событиями, в которых Λ^0 образованы в результате взаимодействия нейтронов с воздухом в области за мишенью.

При построении необходимых для анализа распределений отобранных событий из них вычиталась доля событий, эквивалентная уровню фона. Характер соответствующих распределений для фона определялся при этом в результате анализа событий из области /2/. Таким образом были построены распределения Ξ^- по поперечной (P_T) и продольной ($P_{||}$) составляющим их импульсов. Из приведенного на рис.3 спектра по P_T следует, что Ξ^- зарегистрированы в кинематической области $0 < P_T < 1,3$ ГэВ/с при $\langle P_T \rangle = 0,46$ ГэВ/с. Спектр по $P_{||}$ для зарегистрированных Ξ^- соответствует области X , переменной Фейнмана, от 0,1 до 0,9 при среднем значении $\langle X \rangle = 0,45$.

Динамика слабого распада бариона со спином 1/2 на другой барион со спином 1/2 и псевдоскалярный мезон характеризуется угловым распределением вылета одного из продуктов распада, т.н. анализатора распада, относительно оси поляризации распадающегося бариона. Ξ^- , образованные в результате сильного взаимодействия, из-за сохранения P-четности в реакции могут быть поляризованы только перпендикулярно к плоскости их рождения. Соответствующая ось поляризации определяется выражением

$$\vec{N} = \vec{n} \times \vec{\pi}^{\rightarrow}, \quad /3/$$

где \vec{n} и $\vec{\pi}^{\rightarrow}$ - векторы импульсов в л.с. первичного нейтрона и Ξ^- соответственно. Матричный элемент $W(\cos \theta, \cos \phi)$ каскадного распада /1/, определенный в /5/, зависит от угла

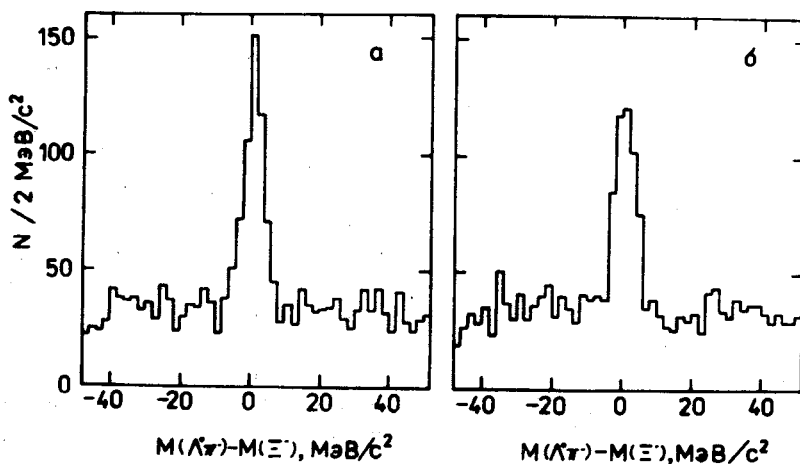


Рис. 4. Спектры инвариантных масс $M(\Lambda^0 \pi^-)$ в области массы Ξ^- , полученные при условиях: а/ $\cos \theta > 0$; б/ $\cos \theta < 0$.

(θ) вылета Λ^0 /анализатора первого этапа распада/ в системе покоя Ξ^- относительно оси \bar{N} и от угла (ϕ) вылета протона /анализатора второго этапа распада/ в системе покоя Λ^0 относительно оси, определяемой направлением импульса Λ^0 в системе покоя Ξ^- . Интегрируя этот матричный элемент по углу ϕ или θ , получим, соответственно,

$$W(\cos \theta) = \frac{1}{2} \cdot (1 + a(\Xi^-) \cdot \mathcal{P} \cdot \cos \theta) \quad /4a/$$

или

$$W(\cos \phi) = \frac{1}{2} \cdot (1 + a(\Xi^-) \cdot a(\Lambda^0) \cdot \cos \phi), \quad /4б/$$

где \mathcal{P} - поляризация Ξ^- , а $a(\Xi^-) = -0,434$ и $a(\Lambda^0) = 0,642$ ^{8/} - хорошо известные параметры асимметрии распадов $\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 \pi^-$ и $\Lambda^0 \rightarrow p \pi^-$ соответственно. Из выражений /4/ следует, что

$$a(\Xi^-) \cdot \mathcal{P} = 2 \cdot A(\cos \theta) \quad /5а/$$

и

$$a(\Xi^-) \cdot a(\Lambda^0) = 2 \cdot A(\cos \phi). \quad /5б/$$

Здесь через A обозначены величины асимметрии матричного элемента распада относительно соответствующего угла, например

$$A(\cos \theta) = \frac{W(\cos \theta > 0) - W(\cos \theta < 0)}{W(\cos \theta > 0) + W(\cos \theta < 0)}. \quad /6/$$

Для определения поляризации Ξ^- была измерена величина асимметрии /6/ для зарегистрированных Ξ^- . С этой целью были проанализированы два спектра инвариантных масс $M(\Lambda^0 \pi^-)$, один из которых получен при условии $\cos \theta > 0$ /рис. 4а/, а вто-

рой - при условии $\cos\theta < 0$ /рис.46/. В первом спектре было выделено 377 Ξ^- при числе фоновых событий, равном 275, а во втором спектре - соответственно 334 Ξ^- и 281 фоновое событие. При вычислении величины $A(\cos\theta)$ для Ξ^- предполагалось, что эффективности их регистрации в областях $\cos\theta > 0$ и $\cos\theta < 0$ пропорциональны соответствующим эффективностям регистрации фоновых событий. Предполагалось также, что фоновые события образованы симметрично по $\cos\theta$ и, следовательно, наблюдаемое их распределение по $\cos\theta$ отражает только эффективность их регистрации. С учетом /5а/ и табличного значения $a(\Xi^-)$ было получено, что

$$P = - 0,33 \pm 0,22. \quad /7/$$

Возможные систематические ошибки рассмотренного метода вычислений тем меньше, чем меньше величина поправки, обусловленная наблюдаемой асимметрией фоновых событий, т.е. эффективностью их регистрации. Для оценки таких ошибок и проверки метода аналогичным образом с учетом /5б/ и табличного значения $a(\Lambda^0)$ была определена величина

$$a(\Xi^-) = - 0,48 \pm 0,16. \quad /8/$$

При определении этой величины вводилась значительная поправка, связанная с наблюдаемой асимметрией по $\cos\phi$ для зарегистрированных фоновых событий, равной $0,56 \pm 0,02$. Несмотря на это, полученный результат /3/ хорошо согласуется с табличным значением $a(\Xi^-)$. Значит, систематическая ошибка, которую может содержать величина /8/, несущественна по сравнению со статистической. Возможная систематическая ошибка результата /7/ может быть только меньше, поскольку, как было показано выше, фоновые события распределены практически симметрично по $\cos\theta$. Симметричное распределение фоновых событий и, следовательно, эффективности их регистрации по $\cos\theta$ обусловлено геометрией установки, которая симметрична относительно плоскости XOZ . Эта симметрия приводит к тому, что каждому зарегистрированному распаду Ξ^- с определенным значением $\cos\theta_1$ соответствует зарегистрированный с такой же вероятностью распад Ξ^- с отрицательным значением $-\cos\theta_1$, топология которого зеркально симметрична относительно плоскости XOZ . В соответствии с этим справедливы соотношения

$$R_i = \frac{N^+(\cos\theta_1)}{N^-(-\cos\theta_1)} = \frac{1 + a(\Xi^-) \cdot P \cdot \cos\theta_1}{1 - a(\Xi^-) \cdot P \cdot \cos\theta_1}, \quad /9/$$

где $N^+(\cos\theta_1)$ и $N^-(-\cos\theta_1)$ - число Ξ^- , зарегистрированных при определенном значении $\cos\theta_1$, соответственно с положительными или отрицательными Y - проекциями импульсов, т.е. симметрично относительно плоскости XOZ . Из соотношения /9/

следует, что для каждого i -го интервала по $\cos\theta$ поляризация Ξ^- равна

$$P_i = \frac{1}{\alpha(\Xi^-) \cdot \cos\theta_i} \cdot \frac{R_i - 1}{R_i + 1} \quad /10/$$

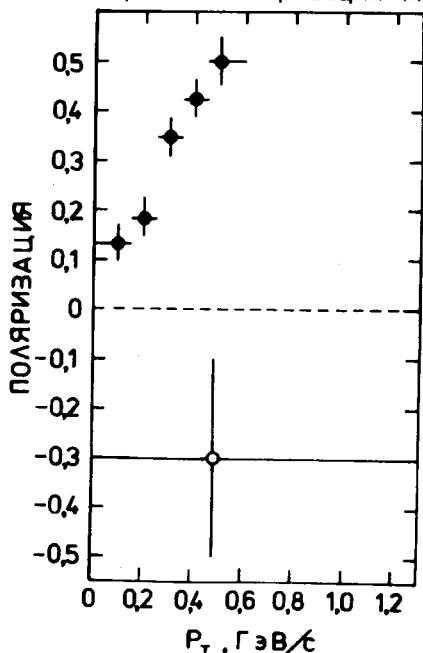
Значения поляризации Ξ^- , вычисленные в соответствии с выражением /10/ в каждом из восьми равномерных интервалов по $\cos\theta$, хорошо согласуются между собой ($\chi^2/\text{ст.св.}=7,5/8$), а их усредненная величина, равная $-0,30 \pm 0,17$, совпадает с /7/. Следовательно, полученная поляризация Ξ^- не зависит от способа ее измерения.

Значения поляризации Ξ^- , полученные независимо в экспозициях с различающимися направлениями магнитного поля в анализирующем магните, хорошо согласуются между собой. Это также свидетельствует об отсутствии существенных систематических ошибок при определении P .

Таким образом, получено, что поляризация Ξ^- , рожденных инклюзивно при $\langle P_T \rangle = 0,46$ ГэВ/с и $\langle X \rangle = 0,45$ нейтронами со средним импульсом ~ 40 ГэВ/с, отрицательна:

$$P = -0,3 \pm 0,2 \quad /11/$$

Знак и величина поляризации Ξ^- в пределах ошибок совпадают с поляризацией Λ^0 , измеренной в этом же эксперименте /1/. Величина /11/ хорошо согласуется также с результатом измерения поляризации Ξ^- , рожденных инклюзивно в со-



ответствующей кинематической области протонами с импульсом 400 ГэВ/с /7/. На рис.5 сравнивается полученная величина /11/ с результатами измерения поляризации Ξ^- , рожденных инклюзивно в пучке K^- с импульсом 5 ГэВ/с /8/. Как следует из этого сравнения, Ξ^- , рожденные нейтронами и отрицательными каонами, поляризованы противоположно по знаку. Рассмотренное поведение

Рис.5. Поляризация Ξ^- , измеренная в различных интервалах P_T : (○) — результат данной работы; (●) — результаты работы /7/.

поляризации Ξ^- соответствует предсказаниям ряда теоретических моделей, например /9-12/.

Авторы выражают глубокую благодарность А.М.Балдину, А.Н.Тавхелидзе, Н.Е.Тюрину и И.А.Савину за поддержку экспериментов и постоянный интерес к работе; Р.Ледницкому за плодотворные регулярные обсуждения, Е.М.Лихачевой за участие в экспериментах.

Литература

1. Алеев А.Н. и др. ЯФ, 1983, 37, с.1480.
2. Алеев А.Н. и др. Краткие сообщения ОИЯИ № 1-84, Дубна, 1984, с.13.
3. Алеев А.Н. и др. ЯФ, 1986, 43, с.619.
4. Айхнер Г. и др. ОИЯИ, 1-80-644, Дубна, 1980;
Максимов А.Н. и др. ОИЯИ, 1-81-574, Дубна, 1981.
5. Lee T.D., Yang C.N. Phys.Rev., 1957, 108, p.1645.
6. Aguilar - Benítez M. et al. Phys.Lett., 1986, 170B, p.1.
7. Remeika R. et al. Phys.Rev., 1986, D33, p.3172.
8. Bensinger J. et al. Phys.Lett., 1981, 105B, p.403.
9. De Grand T.A., Miettinen H.I. Phys.Rev., 1981, D24, p.2419.
10. Andersson B. et al. Phys.Rev., 1981, 97, p.31.
11. Струминский Б.В. ЯФ, 1981, 34, с.1594.
12. Lednicky R. Z.Phys., 1985, с.26, p.531.

Рукопись поступила 11 августа 1986 года.