

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

3352/82

19/7-82

P1-82-360

ПОЛЯРИЗАЦИЯ Λ^0 , РОЖДЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ
С ЭНЕРГИЕЙ ОКОЛО 40 ГэВ
НА ЯДРАХ УГЛЕРОДА

Сотрудничество: Берлин-Варна-Будапешт-
Дубна-Москва-Прага-София-Тбилиси

Направлено в журнал "Ядерная физика"; на XXI
Международную конференцию по физике высоких
энергий, Париж, июль 1982 года

1982

А.Н.Алеев, В.А.Арефьев, В.П.Баландин, В.К.Бирулев,
Т.С.Григалашвили, Б.Н.Гуськов, И.М.Иванченко, И.Н.Какурин,
Н.Н.Карпенко, Д.А.Кириллов, И.Г.Косарев, В.Р.Крастев,
Н.А.Кузьмин, Б.А.Кулаков, М.Ф.Лихачев, А.Л.Любимов,
А.Н.Максимов, А.Н.Морозов, Нгуен Монг Зао, А.Е.Сеннер,
Л.В.Сильвестров, В.Е.Симонов, Л.А.Слепец, М.Смижанска,
Г.Г.Султанов, Г.Г.Тахтамышев, П.Т.Тодоров, Р.К.Траянов,
В.Д.Чолаков, А.С.Чвыров
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Х.Новак, А.В.Поце, Х.-Э.Рызек, К.Хиллер
Институт физики высоких энергий АН ГДР, Берлин-Цойтен

М.В.Тошева
Высший машинно-электротехнический институт, Варна

А.С.Белоусов, Я.А.Ваздик, Е.И.Малиновский, С.В.Русаков,
Ю.В.Соловьев, А.М.Фоменко, П.Н.Шарейко, Л.Н.Штарков
Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР, Москва

Э.Д.Молодцов
Институт ядерных исследований АН СССР, Москва

Е.А.Чудаков
Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва

Я.Гладки, С.Немечек, М.Новак, А.Прокеш
Физический институт ЧСАН, Прага

В.Й.Заячки
Высший химико-технологический институт, София

Д.Т.Бурилков, В.И.Генчев, И.М.Гешков, П.К.Марков
Институт ядерных исследований и ядерной энергии БАН, София

В.П.Джорджадзе, В.Д.Кекелидзе, Н.Л.Ломидзе, Г.И.Никобадзе,
Р.Г.Шанидзе
Научно-исследовательский институт физики высоких энергий ТГУ,
Тбилиси

Т.В.Гвахария
Специальное конструкторское бюро научного приборостроения
АН ГССР, Тбилиси

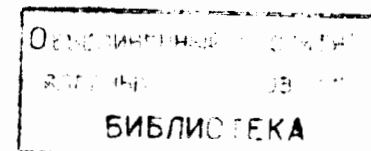
Эксперименты^{/1-8/} показали, что в инклюзивных процессах Λ^0 , рожденные протонами с энергией больше 20 ГэВ на нуклонах и ядрах, имеют значительную поляризацию, которая растет с ростом перпендикулярного (P_{\perp}) импульса Λ^0 -частиц. Качественное объяснение этого явления дано, например, в работах^{/8,9,10,11/}. В работе^{/12/} наблюдается близкая к единице поляризация Λ^0 , рожденных в пропановой камере нейтронами около 7 ГэВ/с, в кинематически запрещенной области рождения Λ^0 на свободных нуклонах. В данной работе приводятся новые результаты об изменении поляризации Λ^0 , рожденных нейтронами на ядрах углерода, основанные на анализе около 80 тысяч Λ^0 -распадов. Первые результаты этого эксперимента сообщены в работах^{/13/}.

Поляризация Λ^0 определялась по измерению асимметрии в распадах $\Lambda^0 \rightarrow P + \pi^-$ относительно плоскости рождения Λ^0 . Вклад Λ^0 от распадов Σ^0 не учитывался.

Эксперимент выполнен на серпуховском ускорителе с помощью спектрометра^{/14/} БИС-2 ОИЯИ на линии с ЭВМ ЕС-1040. Схема расположения спектрометра на пучке канала 4Н показана на рис.1. Пучок нейтронов, средняя энергия^{/15/} нейтронов в котором $/40 \pm 5/$ ГэВ, предварительно очищенный свинцовым фильтром толщиной 10 см от гамма-квантов и затем магнитным полем магнита СП-129 и системой стальных коллиматоров от заряженных частиц, падал на мишень, содержащую ядра углерода.

Спектрометр включает двухкоординатные пропорциональные камеры^{/16/} /ПК/. Все ПК, за исключением ПК2, имеют шаг катушки сигнальных проволок 2 мм. ПК5, ПК7 и ПК9 имеют косую катушку проволок под углом $\pm 22,5^\circ$ относительно других ПК. Сигнальные X-электроды ПК имеют как индивидуальные выходы, так и выходы, объединенные в группы, образующие системы годоскопических счетчиков^{/17/}. С помощью этих и других детекторов спектрометра формировался триггер, логика которого требовала прохождения четырех и более заряженных частиц через детекторы /ПК и Г1/. При прохождении заряженных частиц через спектрометрический магнит СП-40 поперечная составляющая их импульса изменялась на 0,64 ГэВ/с.

В эксперименте использовались два образца мишеней /М/: первый - углеродная пластинка диаметром 5 см и толщиной $6,24 \text{ г/см}^2$, второй - два сцинтилляционных счетчика с размерами $4 \times 6 \text{ см}^2$ и толщиной 3 см каждый. Чтобы исключить возмож-



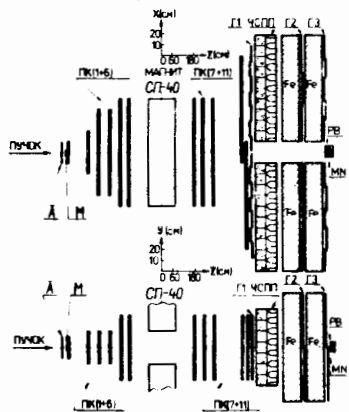


Рис.1. Схема расположения аппаратуры БИС-2 на канале 4Н серпуховского ускорителя: А, Г1, Г2, Г3 - сцинтилляционные счетчики и годоскопы; ПК/1 ÷ 11/ - пропорциональные камеры; ЧСПП - годоскопы черенковских счетчиков полного поглощения; Fe - блоки из железа детектора мюонов; MN - счетчики для мониторингирования нейтронов.

ные систематические погрешности результатов эксперимента, первичные статистические данные набирались с вектором магнитного поля в магните СП-40, направленным

как "вверх", так и "вниз". Кроме того, менялось расстояние между мишенью и центром магнита СП-40, что приводило к изменению распадной области для Λ^0 и эффективной апертуры спектрометра.

Данные относятся к анализу $1,2 \cdot 10^7$ первичных событий, обработанных с помощью программ "Перун" /18/ и "Вью" с целью геометрической реконструкции треков частиц. В дальнейшем при анализе треков частиц и отборе кандидатов в Λ^0 требовалось, чтобы выполнялись следующие условия:

1. Расстояние между продолжениями двух треков частиц в медианную плоскость магнита - больше 10 см.
2. Эффективные массы двух частиц с одинаковыми знаками зарядов и в предположении, что они обе пионы, - больше $312 \text{ МэВ}/c^2$.
3. Угол между треками частиц с противоположными знаками зарядов - больше 0,25 мрад.
4. Расстояние от медианной плоскости магнита СП-40 до точки распада кандидатов в Λ^0 - больше 270 см.
5. Расстояние от центра мишени до точки распада кандидатов в Λ^0 - больше 12 см.
6. Минимальное расстояние между треками частиц от распада кандидатов в Λ^0 - меньше 0,3 см.
7. Эффективная масса двух частиц в предположении, что одна - протон, а другая - пион:

$$\begin{aligned} \text{а/ } & 1111 \text{ МэВ}/c^2 < M(P\pi^-) < 1120 \text{ МэВ}/c^2 \text{ или} \\ \text{б/ } & 1105 \text{ МэВ}/c^2 < M(P\pi^-) < 1109 \text{ МэВ}/c^2, \\ & 1123 \text{ МэВ}/c^2 < M(P\pi^-) < 1127 \text{ МэВ}/c^2. \end{aligned}$$

Треки считались существенно различными, если выполнялись условия 1 или 2 или 3. В противном случае из этих треков оставался один с наилучшим χ^2 на степень свободы. Если в одном событии было несколько кандидатов в Λ^0 , то оставался один, с минимальным значением χ^2 .

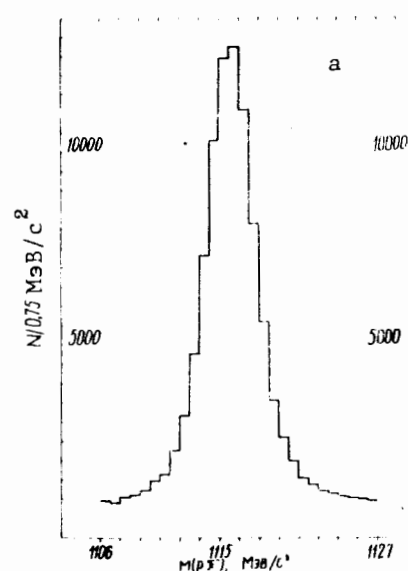
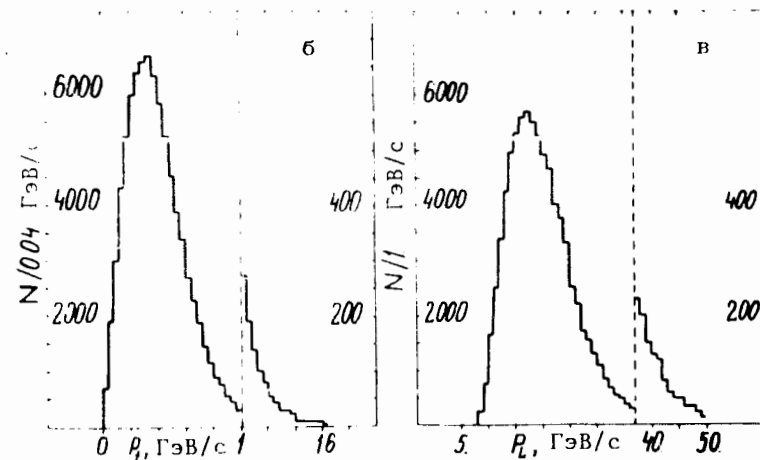


Рис.2. Распределение событий: а/ по эффективной массе $M(P\pi^-)$; б/ по поперечному импульсу Λ^0 ; в/ по продольному импульсу Λ^0 .



Из отобранных кандидатов в Λ^0 события, удовлетворяющие критерию 7б, служили в дальнейшем для оценки и вычитания фоновых событий. Аналогичные критерии отбора были использованы на части статистики для выделения кандидатов в $K_S^0 \rightarrow \pi^-\pi^+$. Распределения 83705 кандидатов в Λ^0 и 26055 кандидатов в K_S^0 по эффективным массам, продольным и поперечным импульсам показаны соответственно на рис.2 и 3.

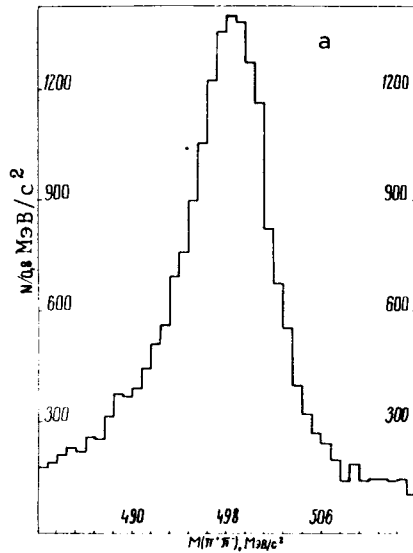
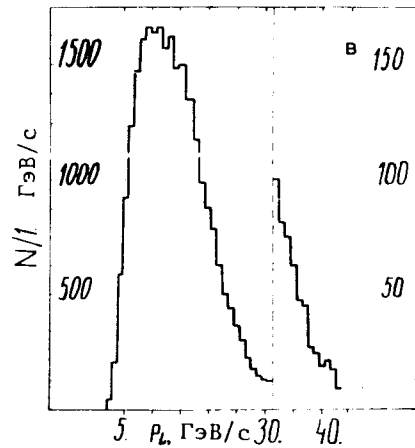
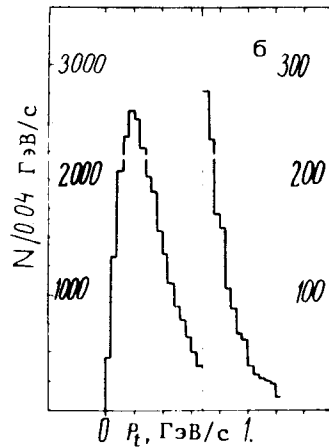


Рис.3. Распределение событий:
 а/ по эффективной массе $M(\pi^+\pi^-)$;
 б/ по поперечному импульсу K_S^0 ;
 в/ по продольному импульсу K_S^0 .



Поляризация Λ^0 измерялась относительно перпендикуляра (\bar{Y}) к плоскости рождения Λ^0 . При этом использовалась прямоугольная система координат с направляющими единичными векторами $\bar{X}, \bar{Y} = \bar{n} \bar{X} \bar{P}, \bar{Z} = \bar{P}$, где \bar{n} и \bar{P} - единичные векторы вдоль оси пучка нейтронов и импульса Λ^0 в лабораторной системе координат соответственно, а \bar{X} выбирался так, чтобы система координат была правой.

Известно, что плотность вероятности числа протонов от распада $\Lambda^0 \rightarrow P + \pi^-$, если поляризация Λ -частиц равна \mathcal{P} , имеет вид /см., напр., /19/:

$$\frac{dW}{d \cos \theta} \approx (1 + a \cdot \mathcal{P} \cdot \cos \theta) / 2, \quad /1/$$

где $a = 0,642$ /20/, параметр асимметрии в распадах $\Lambda^0 \rightarrow P + \pi^-$,

$$\cos \theta = \bar{Y} \cdot \bar{P}_p / |\bar{P}_p^*|. \quad /2/$$

Здесь \bar{P}_p^* и \bar{P}_p - импульсы протона в системе покоя Λ^0 и в лабораторной системе координат соответственно. Поляризация Λ^0 в зависимости от P_{\perp} была получена из экспериментальных данных, используя соотношения /1/ и /2/. Все кандидаты в Λ^0 были разделены на группы событий по P_{\perp} . Первые интервалы P_{\perp} взяты равными 0,2 ГэВ/с, а последний открыт со стороны больших значений.

Для каждой группы событий /отдельно как для событий, удовлетворяющих критерию 7а, так и для фоновых, удовлетворяющих 7б/ были построены распределения по $\cos \theta$. После нормировки распределения фоновых событий были вычтены из соответствующих распределений, удовлетворяющих критерию 7а. Ниже для краткости используем следующие обозначения: $X = \cos \theta$ и $\beta = a \cdot \mathcal{P}$. Экспериментальные распределения события /для каждого конкретного интервала по P_{\perp} / в зависимости от X можно представить в виде

$$N_3(X) = \frac{dW(X)}{dX} \cdot \Phi(X), \quad /3/$$

где

$$\Phi(X) = \int N(U) \cdot \epsilon(U, X) \cdot dU, \quad /4/$$

U - шестимерная переменная, характеризующая импульс и координаты точки распада Λ^0 ; $N(U) dU$ - число рожденных Λ^0 в интервале dU ; $\epsilon(U, X)$ - эффективность регистрации и восстановления Λ^0 .

Из /3/ следует, что для вычисления поляризации Λ^0 достаточно знать вид функции $\Phi(X)$, который был определен путем моделирования по методу Монте-Карло. При моделировании в качестве исходных использовались события, зарегистрированные в эксперименте, число которых в интервале ΔU равно

$$\Delta N_3(U) = N(U) \cdot \Delta U \int_{-1}^{+1} \frac{dW(X)}{dX} \epsilon(U, X) dX. \quad /5/$$

При этом предполагался изотропный распад Λ^0 на протон и пион в системе покоя Λ^0 и учитывались известные условия эксперимента, логика программ геометрической реконструкции событий и критерии статистического анализа данных.

В результате были получены распределения:

$$N_n(X) = C f(N(U)) \cdot \epsilon(U, X) \cdot (1 + \beta \cdot \bar{X}(U)) \cdot \bar{X}^n(U) \cdot dU, \quad /6/$$

где $n = 0, 1, 2, 3$; C - константа; $\epsilon(U, X)$ - эффективность регистрации и выделения Λ^0 ;

$$\bar{X}(U) = \frac{\int_{-1}^{+1} X \cdot \epsilon(U, X) dX}{\int_{-1}^{+1} \epsilon(U, X) dX}.$$

Видно, что при $n=0$ правые части /4/ и /6/ отличаются друг от друга на множитель $(1 + \beta \cdot \bar{X}(U))$ под интегралом.

Так как $\beta \cdot \bar{X}(U) = \alpha \cdot \mathcal{P} \cdot \bar{X}(U) < 1$, то для вычисления β был использован метод итераций. Первые приближения были найдены путем аппроксимации отношения левых частей уравнений /3/ и /6/ при $n=0$ линейной функцией $V(1 + \beta_0 \cdot X)$, где V - константа. Последующие приближения находились путем аппроксимации отношений:

$$N_3(X) / \sum_{n=0}^3 (-\beta_j)^n \cdot N_n(X), \quad /7/$$

линейной функцией $V(1 + \beta_j \cdot X)$, где j - номер итерации. Практически было достаточно вторых приближений, то есть можно ограничиться вычислениями β_1 . Корректность этой процедуры восстановления численных значений проверена на моделированных Λ^0 с известным значением β .

На рис.4 приведены распределения

$$\Phi_1(X) = F(X) = \sum_{n=0}^3 (-\beta_1)^n N_n(X)$$

для различных интервалов P_{\perp} .

Анализ событий $K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$, зарегистрированных в этом эксперименте, показал, что асимметрия в распадах K^0 согласуется с нулевым значением ($\mathcal{P}(K^0) = 0,011 \pm 0,028$ для интервала P_{\perp} от 0 до 1,2 ГэВ/с). Анализ K^0 -событий выполнен аналогично анализу Λ^0 событий.

В таблице и на рис.5 приведены результаты измерения поляризации Λ^0 в зависимости от P_{\perp} . Ошибки в величинах поляризации даны с учетом процедуры их вычисления. Эти экспериментальные данные показывают, что характер зависимости от P_{\perp} поляризации Λ^0 , рожденных в инклюзивных процессах нейтронами при 40 ГэВ и, соответственно, протонами /1-8/, одинаков, то есть поляризация Λ^0 растет с ростом P_{\perp} и согласуется по величине с данными работы /8/. Эти экспериментальные данные не противоречат теоретическим предсказаниям /10/ о слабой зависимости поляризации Λ^0 при высоких энергиях и больших P_{\perp} от сорта частиц пучка.

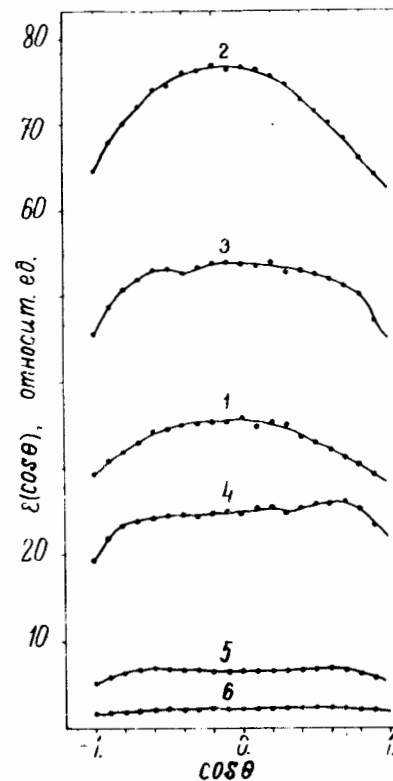
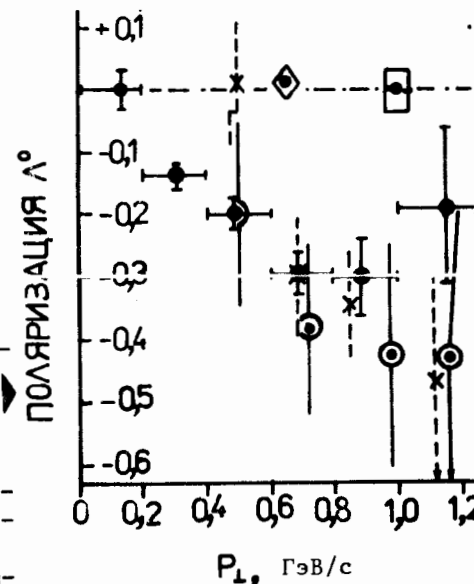


Рис.4. Эффективности регистрации для шести интервалов по P_{\perp} в относительных единицах. Цифрами обозначены интервалы P_{\perp} : 1 - /0 ÷ 0,2/ ГэВ/с; 2 - /0,2 ÷ 0,4/ ГэВ/с; 3 - /0,4 ÷ 0,6/ ГэВ/с; 4 - /0,6 ÷ 0,8/ ГэВ/с; 5 - /0,8 ÷ 1/ ГэВ/с; 6 - больше 1,0 ГэВ/с.

Рис.5. Поляризация Λ^0 в зависимости от P_{\perp} . Данные этой работы: ● - поляризация Λ^0 ; ◆, ■ - средние значения асимметрии K^0 относительно плоскости рождения и Λ^0 относительно их вектора импульса в лабораторной системе соответственно; x, ⊙ - данные из работы /8/ PP при $\sqrt{S} = 53$ и 62 ГэВ/.



Наши данные описываются соотношением /21/

$$\mathcal{P} = -2mP_{\perp} \sin \phi / [4m^2 (1 + \cos \phi) + P_{\perp}^2]$$

при $m=1$ ГэВ/с² и $\phi = 1,41 \pm 0,08$ рад.

На рис.5 также показано полученное в данном эксперименте среднее значение в интервале P_{\perp} от 0 до 1,2 ГэВ/с величины продольной асимметрии Λ^0 относительно их вектора импульса в лабораторной системе координат.

Таблица

Интервал по P_{\perp} /ГэВ/с/	Среднее значение P_{\perp} в интервале	Поляризация частиц	Λ°	χ^2 на 1б степеней свободы
0 + 0,2	0,131	+0,002 ± 0,032		22,3
0,2 + 0,4	0,305	-0,137 ± 0,022		20,5
0,4 + 0,6	0,492	-0,199 ± 0,025		22,1
0,6 + 0,8	0,683	-0,296 ± 0,035		19,4
0,8 + 1,0	0,881	-0,303 ± 0,062		18,5
больше 1	1,150	-0,189 ± 0,125		10,6

Найдено, что величина этой асимметрии согласуется с нулевой, как это и следует из закона сохранения четности в сильных взаимодействиях, и равна $-0,003 \pm 0,033$.

Авторы выражают благодарность А.М.Балдину, Н.С.Амаглобели, И.С.Златеву, К.Ланиусу, А.А.Логонову, Э.И.Мальцеву, М.Г.Мещерякову, И.А.Савину, Л.Д.Соловьеву, П.А.Черенкову, Х.Я.Христову за поддержку этих экспериментов; инженерно-техническому персоналу серпуховского ускорителя за обеспечение работы ускорителя; сотрудникам СЭО ОИЯИ, ОННР ЛВЭ ОИЯИ, сектора №4 НЭЭО ЛВЭ ОИЯИ за участие в подготовке БИС-2 к сеансам и помощь при проведении сеансов на серпуховском ускорителе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bunce G. et al. Phys.Rev.Lett., 1976, 36, p. 1113.
2. Heller K. et al. Phys.Lett., 1977, 68B, p. 480.
3. Heller K. et al. Phys.Rev.Lett., 1978, 41, p. 607.
4. Skubie P. et al. Phys.Rev., 1978, D18, p. 3115.
5. Aahlin P. et al. Lett.Nuovo Cim., 1978, 21, p. 236.
6. Erhan S. et al. Phys.Lett., 1979, 82, p. 301.
7. Lomanno F. et al. Phys.Rev.Lett., 1979, 43, p. 1905.
8. Raychaudhuri K. et al. Phys.Lett., 1980, 90B, p. 319.
9. Andersson B. et al. Phys.Lett., 1979, 85B, p. 417.
10. Ефремов А.Ф. ЯФ, 1978, 28, с. 166.
11. Szwed J. Phys.Lett., 1981, 105B, p. 403.
12. Темников П.П. и др. ОИЯИ, P1-12138, Дубна, 1979.

13. Alleev A.N. et al. High Energy Physics - 1980, (XX Intern. Conf. Madison, Wisconsin), New York, 1981, Page No 375. №375; ОИЯИ, P1-81-165, Дубна, 1981.
14. Айхнер Г. и др. ОИЯИ, 1-80-644, Дубна, 1980; Максимов А.Н. ОИЯИ, 1-81-574, Дубна, 1981.
15. Алеев А.Н. и др. ОИЯИ, 1-81-67, Дубна, 1981.
16. Айхнер Г. и др. ОИЯИ, 13-80-463, 13-80-464, Дубна, 1980.
17. Айхнер Г. и др. ОИЯИ, 13-80-161, Дубна, 1980.
18. Бурилков Д.Т. и др. ОИЯИ, 10-80-656, Дубна, 1980; ОИЯИ, 10-81-772, Дубна, 1981.
19. Bourrely C. et al. Phys.Rep., 1980, 59/80/, 2, p. 95-297.
20. Bricman C. et al. Phys.Lett., 1978, 75B, p.1; Review of Particle Properties. Rev.Mod.Phys., 1980, 52, No.2, Part 11.
21. Amado R.D. et al. BNL-27025, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 мая 1982 года.

Алеев А.Н. и др. Поляризация Λ^0 , рожденных нейтронами с энергией около 40 ГэВ на ядрах углерода P1-82-360

С помощью спектрометра БИС-2 ОИЯИ измерена поляризация Λ^0 , рожденных в инклюзивных процессах нейтронами с энергией около 40 ГэВ на ядрах углерода. Наблюдена поляризация Λ^0 , растущая с ростом поперечного импульса и согласующаяся с результатами измерения поляризации Λ^0 , рожденных протонами.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Aleev A.N. et al. The Polarization of Λ 's Produced P1-82-360 by Neutrons on Carbon Nuclei at a Mean Energy of About 40 GeV

The Λ polarization was measured in the transverse momenta range between 0 and 1,2 GeV/c. The Λ 's were produced inclusively by neutrons on carbon nuclei at a mean energy of about 40 GeV. The polarization increases with P_T and reaches about 30% at $P_T=0,8$ GeV/c. The experiment was performed by a BIS-2 spectrometer at the Serpukhov accelerator.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод авторов.