

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P1-86-403

В.П.Баландин, Е.А.Белогорлов,¹ А.П.Воробьев,¹
Т.С.Григалашвили, Б.Н.Гуськов, В.П.Жигунов,¹
Ю.М.Иванюшенков,¹ Э.П.Кистенев,¹ М.Ф.Лихачев,
Б.Ф.Поляков,¹ А.Г.Холоденко,¹ Е.А.Чудаков²

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ НЕЙТРОНОВ
ПО КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИМ ИЗМЕРЕНИЯМ
НА КАНАЛЕ 4Н СЕРПУХОВСКОГО УСКОРИТЕЛЯ**

¹ Институт физики высоких энергий, Протвино

² Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ им.М.В.Ломоносова, Москва

1986

ВВЕДЕНИЕ

В работе представлены результаты прямых измерений энергетических спектров нейтронов в канале 4Н ускорителя У-70 ИФВЭ. Канал 4Н организован по стандартной схеме, принятой для формирования нейтронных пучков с внутренней мишени ускорителя. Мишеньная часть канала расположена на 32-м линейном промежутке ускорителя, рабочий режим канала отвечает выводу пучка под углом 13,3 мрад, при этом ток в магните, локально искажающем замкнутую орбиту, J , равен ~ 100 А, а радиальная координата мишени - 21 мм.

Детальное описание нейтронного канала 4Н содержится в работе ^{1/}.

Особые требования к точности реконструкции спектра нейтронов в канале 4Н связаны со спецификой физической программы, решаемой с помощью спектрометра БИС-2, установленного в нейтронном пучке. Установка БИС-2 является классическим примером универсального магнитного спектрометра. В экспериментах на установке БИС-2 впервые при энергиях серпуховского ускорителя в нейтрон-углеродных взаимодействиях наблюдается образование очарованного Λ_c^+ -бариона, однако оцененное сечение его образования оказалось неожиданно большим по сравнению с предсказываемым многими современными теоретическими моделями.

Одна из проблем, ограничивающая точность определения величины сечения образования очарованных частиц, связана с характеристиками импульсного спектра нейтронов. Установка БИС-2 чувствительна к регистрации очарованных частиц, образующихся в области фрагментации пучка нейтронов, имеющих импульсы выше 40 ГэВ/с. Импульсный спектр нейтронов в канале 4Н, используемый при оценке сечения образования Λ_c^+ -барионов в работе ^{12/}, имеет максимум 42 ГэВ/с с шириной на полувысоте 30 ГэВ/с. Следствием возможных отличий используемого нейтронного спектра от истинного может явиться систематическая погрешность в величине сечения образования очарованных частиц, достигающая $\sim 40\%$. В этой связи нами был предложен и реализован относительно простой способ измерения спектра нейтронов в канале, основанный на использовании адронного калориметра. Последующая реконструкция истинного спектра проводилась по методу регуляризации. Применение этой методики позволило за непродолжительное время работы ускорителя провести статистически обеспеченные измерения спектров нейтронов и выработать рекомендации по контролю за параметрами пучка в реальном времени.

1. АППАРАТУРА

Детектором нейтронов служил опытный модуль переднего адронного калориметра /ПАК/ европейского гибридного спектрометра. Модуль объединяет четыре идентичных счетчика, каждый из которых составлен из 17 слоев стальных пластин толщиной 46 мм, прослоенных сцинтиллятором толщиной 20 мм. Поперечные размеры модуля равняются 30×30 см². Светосбор со сцинтилляционных пластин на фотокатоды фотоумножителей осуществляется стержневыми переизлучателями. Подробно конструкция модуля описана в работе /3/.

Схема размещения установки БИС-2 в канале 4Н и местоположение калориметра в рамках установки показаны на рис.1.

В ходе измерений регистрировались сигналы от адронных ливней, индуцированных нейтронами пучка в медном диске М1 диаметром 25 мм и толщиной 20 мм. Триггерный сигнал формировался как $T = S_3 \times (S_1 + S_2)$.

Измерения проводились при различных условиях наведения первичного пучка на внутреннюю мишень, что соответствовало различным условиям работы спектрометра БИС-2 как в тестовых, так и в физических сеансах облучения. Считываемые с калориметра данные контролировались с помощью ЭВМ и записывались на магнитную ленту. Непосредственно перед измерениями калориметр калибровался отрицательными пионами с импульсом 43 ГэВ/с.

2. МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ СПЕКТРОВ

Энергетический спектр нейтронов пучка восстанавливался непосредственно из измеренного спектра с помощью модифицированной программы PENS-2 /программы для определения спектра нейтронов/, созданной в ИФВЗ для целей калибровки и мониторинга нейтронного фона от ускорителя /4/. В основу программы положен метод регуляризации Тихонова с привлечением априорной информации о неотрицательности искомого спектра и величинах его граничных значений. Для восстановления спектра нам необходимо было задать аппаратную функцию калориметра.

Из-за негауссового распределения энерговыделения в калориметре и неизбежных утечек энергии за пределы калориметра его аппаратная функция $K(E/E')$ отличается от нормального распределения и практически всегда является асимметричной относительно положения максимума. Пример модификации нормального распределения, приводящий к асимметрии, имеется, например, в книге /5/.

Обозначим истинную энергию нейтрона через E' , а измеренную энергию ливня - через E . Аппаратная функция модуля ПАК была описана функцией, удовлетворяющей условию нормировки $\int K(E/E') dE=1$

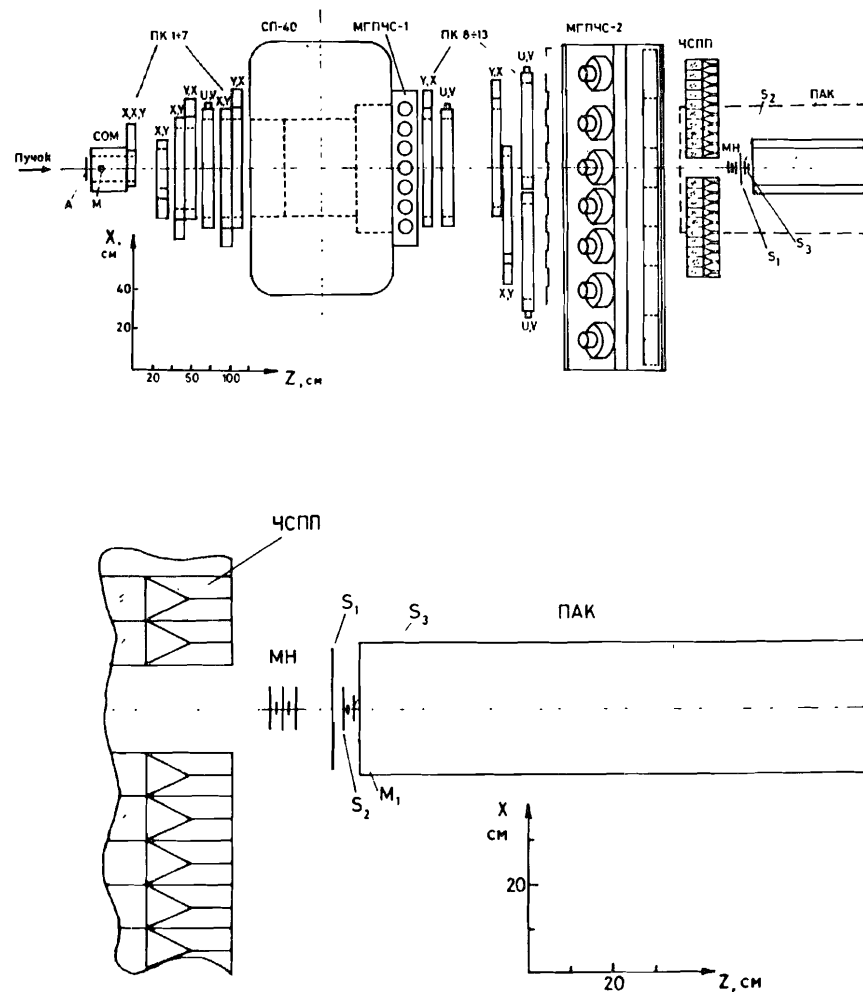


Рис.1. Размещение спектрометра БИС-2 и адронного калориметра на канале 4Н. ПК - пропорциональные камеры, МГПЧС - многоканальный газовый пороговый черенковский счетчик, Г - сцинтилляционный годоскоп, ЧСПП - годоскоп черенковских счетчиков полного поглощения, МН - нейтронный монитор, $S_1 + S_3$ - сцинтилляционные счетчики, М - медная мишень.

и задаваемой следующим соотношением:

$$K(E/E') = C \cdot e^{-\ln 2 \left(\frac{E' - E}{\sigma_E} - D(E, E', \lambda, \sigma_E) \right)^2} \quad /1/$$

где C - нормировочная константа,

$$D(E, E', \lambda, \sigma_E) = \begin{cases} 0 & \text{при } E > E' \\ 0,838 (\lambda - 1) \left(\frac{E' - E}{\lambda \sigma_E} \right)^{1,3} & \text{при } E \leq E' \end{cases}$$

добавочный член, вводящий асимметрию; λ - параметр асимметрии распределения, равный отношению ширины распределения на уровне 0,1 от максимального значения в области $E < E'$ к ширине в области $E > E'$. В нашем случае $\lambda = 1,1$. Энергетической зависимостью λ мы пренебрегаем, σ_E - полуширина на полувысоте распределения в области $E > E'$. Величина σ_E вычислялась для каждого значения E' на основе экспериментально установленной зависимости энергетического разрешения ПАК от энергии адронов. ПАК экспонировался ранее в пучках адронов в интервале энергий 40-300 ГэВ^{1/3}. Полученное при этом энергетическое разрешение калориметра $\sigma(E)$ удовлетворительно описывается выражением вида:

$$\sigma(E) / E = 0,05 + 0,78 / \sqrt{E}. \quad /2/$$

Величина σ_3 связана с $\sigma(E)$ соотношением $\sigma_E = 1,18 \sigma(E)$. Значения параметров в выражении /2/ были откорректированы с тем, чтобы учесть ограниченность размеров отдельного модуля калориметра.

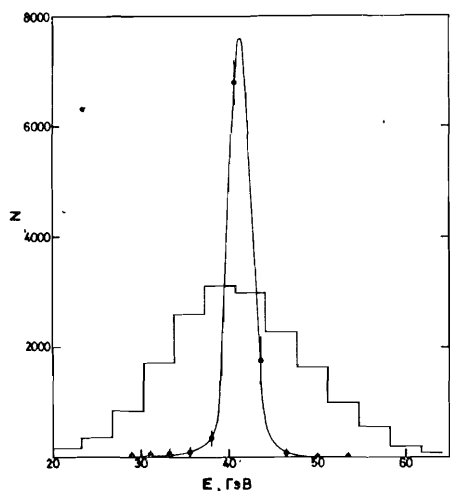


Рис.2. Результаты измерений спектра π^- мезонов в канале №2. Гистограмма - энерговыделение в модуле ПАК, темные точки - восстановленный спектр, сплошная кривая - фит восстановленного спектра гауссовой кривой.

Правильность выбора параметров аппаратной функции проверялась путем сравнения спектра π^- -мезонов в канале №2, восстановленного из экспериментальных данных, с расчетными. На рис.2 приведены результаты, непосредственно полученные в ходе измерений /гистограмма/. Сплошной

кривой на этом рисунке показан спектр π^- -мезонов, восстановленный методом регуляризации с использованием выбранных нами аппаратных функций. Полная ширина на уровне 0,1 максимального значения восстановленного спектра составляет 5,25 ГэВ. Из рабо-

ты^{1/8} известно, что полуширина импульсного спектра заряженных частиц в канале №2, определяемая на уровне 0,1 его максимального значения при +30 мм растворе коллиматора в диапазоне импульсов 40÷60 ГэВ/с составляет +6% P_0 , что находится в хорошем согласии со значением, полученным выше.

3. НЕЙТРОННЫЕ СПЕКТРЫ

Восстановленный энергетический спектр нейтронов, соответствующий основному режиму работы канала 4Н, приведен на рис.3. Там же, для сравнения, приведен спектр, восстановленный по измерениям на спектрометре БИС-2 реакции перезарядки^{1/7} $p \rightarrow p\pi$ и относящийся к тому же режиму работы канала. Легко видеть, что оба спектра, полученные независимыми методами, хорошо согласуются между собой во всем диапазоне энергий. Отметим, что калориметрические измерения при сравнимых точностях обладают рядом преимуществ: набор необходимой статистики продолжается около 20 мин реального времени, измерения ведутся в остаточном пучке нейтронов, непосредственно за спектрометром, одновременно с набором физической статистики, и могут быть повторены многократно.

Другим режимом, часто используемым для методических целей, является "теневого". Реконструированный спектр нейтронов для режима работы канала в "тени" приведен на рис.4. Спектр существенно "мягче", чем полученный в основном режиме, а максимум спектра находится при $E \sim 27$ ГэВ.

В ходе исследований были измерены и восстановлены нейтронные спектры, отвечающие широкому пределу вариации условий наведения первичного пучка на внутреннюю мишень, и параметров канала. Все энергетические спектры, соответствующие расстроенному режиму работы канала, существенно "мягче" спектра основного режима. Пример одного из спектров, относящийся к расстроенным условиям наведения /величина тока J уменьшены приблизительно в 5 раз, радиус внутренней мишени $R = -24$ мм/, приводится на рис.5.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Предложена методика контроля и измерения спектров нейтронов в нейтронном канале ускорителя ИФВЭ, основанная на регистрации нейтронных ливней в адронном калориметре и последующей реконструкции истинного спектра методом регуляризации.

2. Проведены измерения спектра нейтронов в канале 4Н ускорителя ИФВЭ при различных условиях работы канала. Показано, что восстановленный энергетический спектр нейтронов, соответствующий

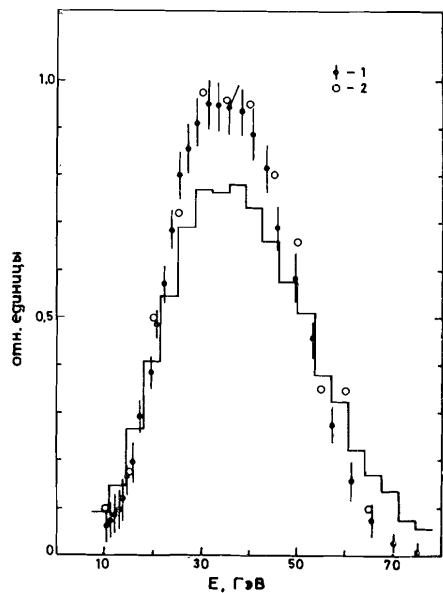


Рис.3. Энергетический спектр нейтронов канала ^4He при работе в основном режиме. Гистограмма — энергосодержание в калориметре, 1 — спектр, восстановленный из калориметрических измерений, 2 — спектр, опубликованный в работе /7/.

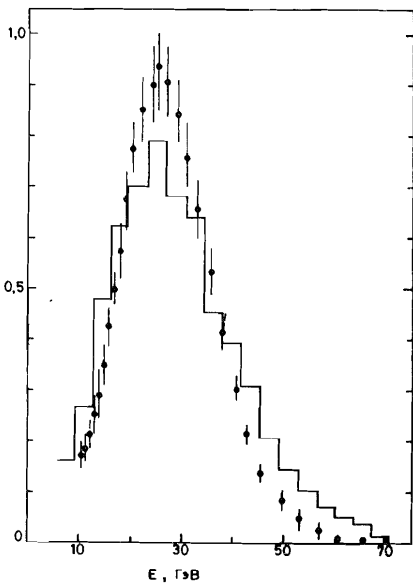
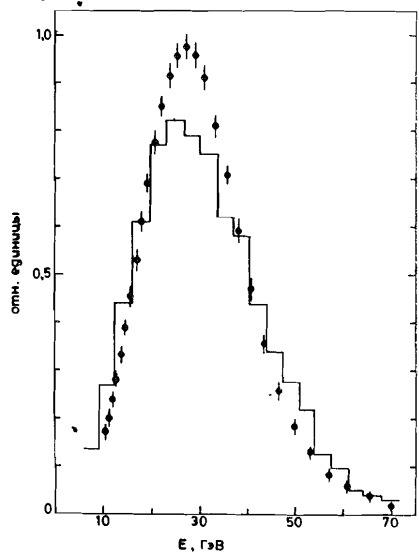


Рис.4. Энергетический спектр нейтронов при работе канала в режиме "в тени". Обозначения те же, что и на рис.3.

Рис.5. Энергетический спектр нейтронов в канале ^4He при расстроенных условиях наведения.

щий основному режиму канала, хорошо согласуется с результатами, полученными ранее при исследовании реакции упругой перезарядки нейтронов.

3. Сравнение спектров, отвечающих разным условиям работы канала, показало, что любые отклонения параметров

приводят к заметному "смягчению" спектра. Тем самым подтверждена правильность выбора рабочих условий для установки БИС-2.

Авторы благодарны коллективу сотрудничества БИС-2 и персоналу ускорителя У-70 за помощь в проведении измерений, коллективам установок "ГАМС" /8/ и "СИГМА" за предоставленную возможность калибровок калориметра, А.А.Асееву, В.С.Селезневу, Л.В.Сильвестрову, В.А.Стопченко за консультации и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алеев А.Н. и др. ОИЯИ, 1-83-910, Дубна, 1983.
2. Aleev A.N. et al. Z.Phys., 1984, C23, p.333.
3. Баратав М. и др. ПТЭ, 1984, 4, с.57.
4. Белогорлов Е.А., Жигунов В.П. Препринт ИФВЭ, 83-54, ОНФ, ОРИ, Серпухов, 1983; Belogorlov E.A., Zhigunov V.P. Nucl.Instr. and Meth., 1985, A235, No.1, p.146.
5. Басиладзе С.Г. Быстродействующая ядерная электроника. Энергоиздат, М., 1982, с.11.
6. Александров И.А. и др. Препринт ИФВЭ, ОП 69-36, Серпухов, 1969; АЭ, 1970, т.29, вып.1, с.29.
7. Алеев А.Н. и др. ОИЯИ, 1-81-67, Дубна, 1981.
8. Бинон Ф. и др. Препринт ИФВЭ, ОФ, 80-141, Серпухов, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 июня 1986 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 конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Баландин В.П. и др.

P1-86-403

Восстановление энергетических спектров нейтронов по калориметрическим измерениям на канале 4Н серпуховского ускорителя

Описаны методика измерений и процедура последующей реконструкции энергетических спектров нейтронов в канале 4Н нейтральных частиц серпуховского ускорителя. Показано, что спектр, измеренный калориметрической методикой, хорошо согласуется со спектром, полученным из реакции перезарядки. Предложена методика оперативного контроля за пучком в режиме набора физической статистики в экспериментах на спектрометре БИС-2.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Balandin V.P. et al.

P1-86-403

Reconstruction of Neutron Energy Spectra by Calorimetric Measurements on 4N Channel of the Serpukhov Accelerator

The measuring and reconstruction methods of the neutron spectra in the 4N neutral channel of the Serpukhov accelerator are described. It is shown that the result based on this method gives a good agreement with the neutron spectrum determined by the charge exchange reaction. The monitoring procedure of the neutral beam during real experiments on the BIS-2 spectrometers is proposed.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986