

P13-2008-75

**КАНАЛ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ 5Н УСКОРИТЕЛЯ
У-70 (ИФВЭ)**

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

Алеев А. Н. и др.

P13-2008-75

Канал нейтральных частиц 5N ускорителя У-70 (ИФВЭ)

Описан созданный на ускорителе У-70 (ИФВЭ) канал нейтральных частиц 5N, предназначенный для получения пучка нейтронов высокой интенсивности и максимально возможной энергии: средняя энергия нейтронов ~ 51 ГэВ, интенсивность — до 10^7 нейтронов за сброс. В этом пучке в течение ряда лет с помощью спектрометра ЭКСЧАРМ успешно выполнялись эксперименты по исследованию очарованных частиц, узких барионных резонансов в нейтрон-ядерных взаимодействиях, а также поиску экзотических многокварковых состояний.

Работа выполнена в Лаборатории физики частиц ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2008

Aleev A. N. et al.

P13-2008-75

Neutral Particle 5N Channel of the U-70 Accelerator (IHEP)

The 5N neutral particles channel at the U-70 accelerator (IHEP), designed for producing a beam of neutrons of high intensity and greatest possible energy, is described. The average energy of neutrons is ~ 51 GeV, intensity — up to 10^7 neutrons per spill. This beam was used for investigation of charmed particles and narrow baryon resonances in neutron-nucleus interactions and also for search of exotic multi-quark states with the EXCHARM spectrometer.

The investigation has been performed at the Laboratory of Particle Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2008

А. Н. Алеев, В. А. Арефьев, Ю. Г. Баша, В. П. Баландин, Б. Н. Гуськов,
И. М. Иванченко, А. И. Зинченко, Н. Н. Карпенко, М. Н. Капишин,
В. Д. Кекелидзе, Д. А. Кириллов, И. Г. Косарев, Н. А. Кузьмин,
М. Ф. Лихачев, А. Л. Любимов, Д. Т. Мадигожин, А. Н. Максимов,
Н. А. Молоканова, А. Н. Морозов, Ю. К. Потребеников, Ю. П. Петухов,
В. Е. Симонов, В. Н. Спасков, Г. Т. Татишвили¹, П. З. Христов², И. П. Юдин

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

А. А. Асеев, А. П. Бугорский, А. А. Журавлев, В. Н. Запольский,
Ф. Н. Новоскольцев

Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

Т. С. Григалашвили

Институт физики АН Республики Грузии, Тбилиси

¹В настоящее время работает в Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA

²В настоящее время работает в European Organization for Nuclear Research (CERN),
Geneve, Switzerland

ВВЕДЕНИЕ

Канал нейтральных частиц (5Н) был создан для продолжения и развития научной программы исследований очарованных частиц, узких барионных резонансов в нейтрон-ядерных взаимодействиях, а также поиска экзотических многокварковых состояний на ускорителе У-70 ИФВЭ. Трасса канала

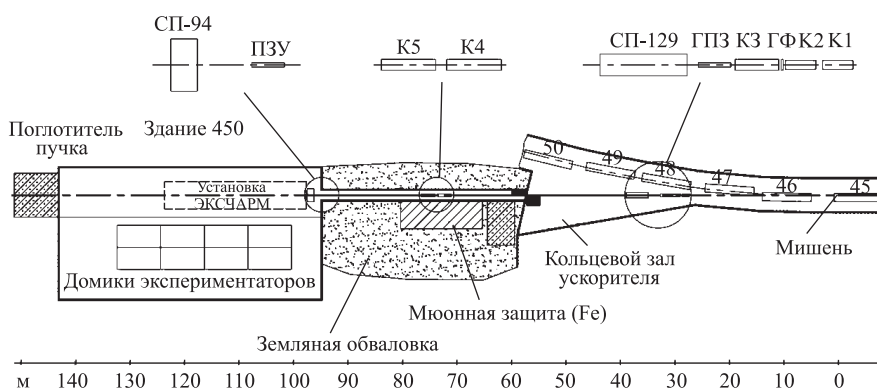


Рис. 1. Схема расположения оборудования канала 5Н: К1–К5 — пучковые коллиматоры; СП-129 — очищающий магнит; ГФ — гамма-фильтр; ГПЗ и ПЗУ — пучковые затворы; СП-94 — резервный магнит (не использовался)

выбиралась из условия совместимости с уже действующими каналами и необходимости получения интенсивного пучка нейтронов со средней энергией, близкой к максимально возможной. Канал 5Н расположен в зоне второго примыкания ускорителя У-70. Элементы канала и его измерительная часть — установка ЭКСЧАРМ — показаны на рис. 1 и 2 соответственно.

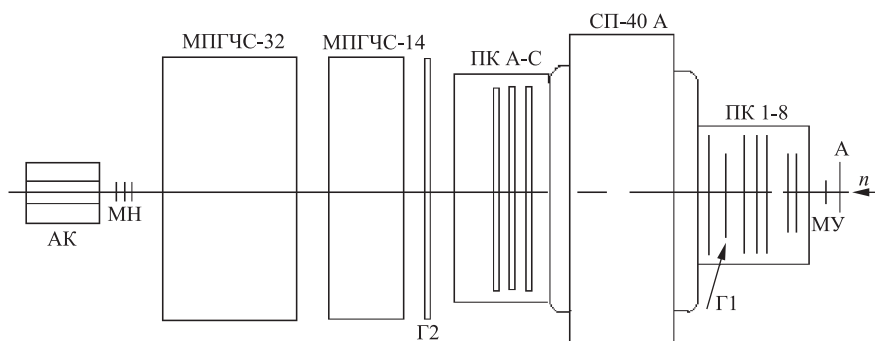


Рис. 2. Установка ЭКСЧАРМ: АК — адронный калориметр; МН — монитор нейтронного пучка; МПГЧС-32 и МПГЧС-14 — пороговые газовые черенковские счетчики; Г1 и Г2 — годоскопы сцинтилляционных счетчиков; ПК А-С и ПК 1-8 — многопроволочные пропорциональные камеры; СП-40А — анализирующий магнит; МУ — мишень установки; А — счетчик антисовпадений

1. ОРГАНИЗАЦИЯ НАВЕДЕНИЯ ПУЧКА НА МИШЕНЬ КАНАЛА 5Н

Положение мишени в камере ускорителя было выбрано так, чтобы осуществить вывод вторичных частиц нужного сорта с заданным импульсом, родившихся под углами, близкими к нулевым. Механизм, с помощью которого мишень вводится в вакуумную камеру ускорителя, обеспечивает два типа перемещений: медленное и быстрое [1]. Узел медленного перемещения позволяет установить координату мишени в вакуумной камере в диапазоне ± 60 мм относительно центральной орбиты в горизонтальной плоскости и ± 10 мм относительно медианной плоскости по вертикали. Узел быстрого перемещения в каждом цикле ускорителя обеспечивает движение мишени из положения вне апертуры вакуумной камеры в рабочее. Точность выхода мишени в рабочее положение составляет $\pm 0,2$ мм.

Конструкция элементов внутренней мишени [2] показана в нижней части рис. 3. Собственно мишень при помощи стойки крепится к держателю, который обеспечивает жесткость конструкции и является достаточно массивным. Высота стойки определяется условиями работы мишени внутри радиально-фокусирующих блоков ускорителя, вертикальный зазор которых на краю открытой части между полюсами составляет 80 мм (рис. 3). Из конструктивных соображений высота стойки ≤ 15 мм. Поперечные размеры мишеней обычно не превышают 3 мм в диаметре. Толщина мишени по пучку превосходит толщину стойки и держателя, поэтому они не вносят заметного вклада в изображение формируемого пучка. Характерные толщины по пучку: мишень —

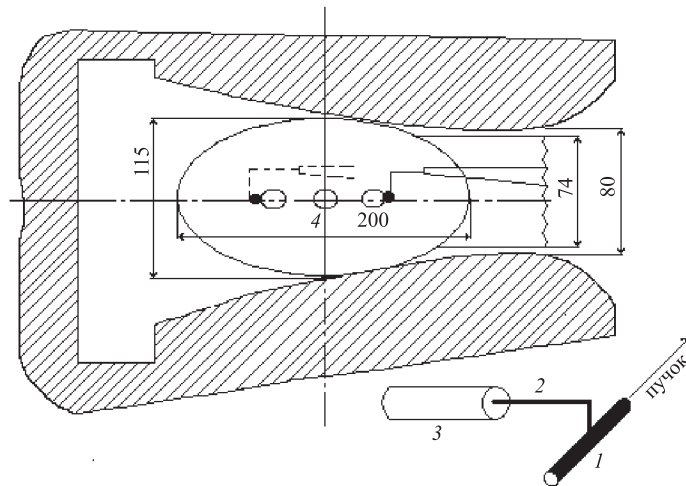


Рис. 3. Схема расположения мишени в радиально-фокусирующем блоке ускорителя: 1 — мишень; 2 — стойка; 3 — держатель; 4 — ускоренный пучок до наведения на мишень

30 мм, стойка и держатель ≤ 2 мм. Материал — Ве или Al. В отдельных случаях используются мишени из более тяжелых материалов: Cu, W. По условиям эксперимента ЭКСЧАРМ использована Ве-мишень, установленная в конце блока 45 У-70. Рабочие координаты мишени: $R = +25$ мм, $z = 0$.

На ускорителе ИФВЭ для наведения пучка на мишени используется способ создания локальных искажений (бампов) замкнутой орбиты, позволяющий (в отличие от других способов) обеспечить устойчивое взаимодействие пучка с мишенями во всем диапазоне их рабочих координат (± 40 мм). Такие искажения можно создавать с помощью возбуждения поля в дополнительных обмотках, расположенных на полюсах магнитных блоков ускорителя. Форма искажения может быть различной в зависимости от типа блоков (фокусирующие или дефокусирующие), с помощью которых оно создается, их количества и расположения вдоль орбиты пучка. Практический интерес представляют формы локального искажения, близкие к $\lambda/2$, λ и $3/2\lambda$, где λ — длина волны бетатронного колебания. Примеры локальных искажений замкнутой орбиты длиной $\sim \lambda/2$, используемых для наведения пучка на мишень блока 45, сформированных с помощью двух блоков, представлены на рис. 4.

Кривая 1 — дополнительное возбуждение поля ΔH , которое создается в фокусирующих (четных) блоках, кривая 2 — в дефокусирующих (нечетных). Видно, что в первом случае возмущающее поле оказывает более сильное влияние на пучок, чем при использовании дефокусирующих блоков.

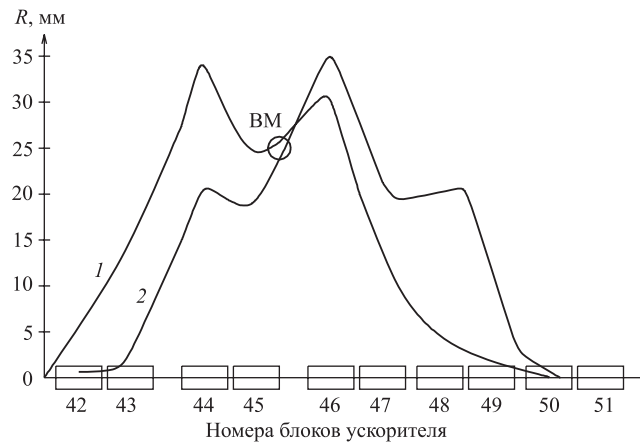


Рис. 4. Бампы наведения ускоренного пучка на мишень установки ЭКСЧАРМ внутри камеры У-70

Процесс наведения, т.е. получение растянутых во времени пучков вторичных частиц, необходимых для проведения экспериментов со счетной методикой, стабилизируется системой обратной связи: токи в дополнительных обмотках «наводящего» и «компенсирующего» блоков регулируются по сигналу от датчика тока пучка на мишень (монитора обратной связи — МОС). МОС и сцинтилляционный счетчик интегральной интенсивности сброса установлены в районе коллиматора РК. Частотный диапазон системы наведения позволяет обрабатывать изменения сигнала обратной связи в полосе частот до 600 Гц. С помощью обратной связи удается ослабить влияние пульсаций магнитного поля, систем коррекции градиента, квадратичной нелинейности и др. на модуляцию плотности вторичных частиц во времени. Время наведения пучка на мишень регулируется величиной опорного уровня, с которым сравнивается уровень сигнала, поступающего с МОС. Длительность наведения может достигать 1,8 с, т.е. занимать почти всю плоскую часть магнитного цикла. Выбранный способ наведения не зависит от режима работы ускоряющих станций. Это позволяет осуществить наведение после выключения ускоряющего напряжения и предотвратить появление высокочастотной (~ 6 МГц) составляющей во временной структуре выведенных пучков.

Структурная схема системы регулирования тока пучка на внутреннюю мишень приведена на рис. 5 [3], где K_{yoc} , K_{pp} , $K_{di/dt}$, K_{CM} , K_{MOH} — соответственно звенья усилителей обратной связи, релейного регулятора, производной тока в обмотке, смещения пучка и монитора.

Важная особенность работы систем вывода У-70 состоит в том, что протонный пучок значительной интенсивности, остающийся в камере ускорителя

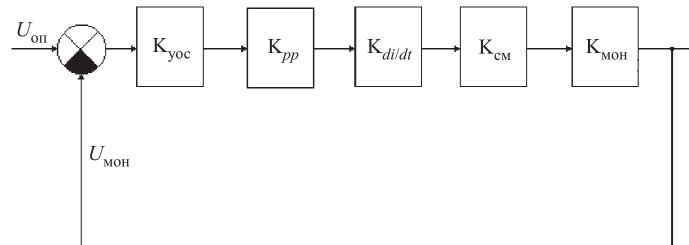


Рис. 5. Структурная схема регулирования тока пучка на внутреннюю мишень

после быстрого вывода (БВ), имеет ярко выраженную временную структуру 200 кГц. Это затрудняет получение качественных параметров пучков при резонансном медленном выводе (РМВ), выводе вторичных частиц и в других режимах. Использование «тонких» ($\sim 50 \text{ м}^2/\text{см}^2$) внутренних мишеней из углеродной ткани (для каналов 2,14) [4, 5] позволило, помимо подавления низкочастотных (до 600 Гц) пульсаций, подавить ВЧ-пульсации 200 кГц в выведенных пучках без применения радиотехнических методов (как, например, в [6]), не решающих задачу кардинально.

На рис.6 представлены осциллограммы, характеризующие временную структуру пучков частиц трех каналов при одновременном наведении ускоренного пучка на три внутренние мишени (к мишеням каналов 2 и 4 до-

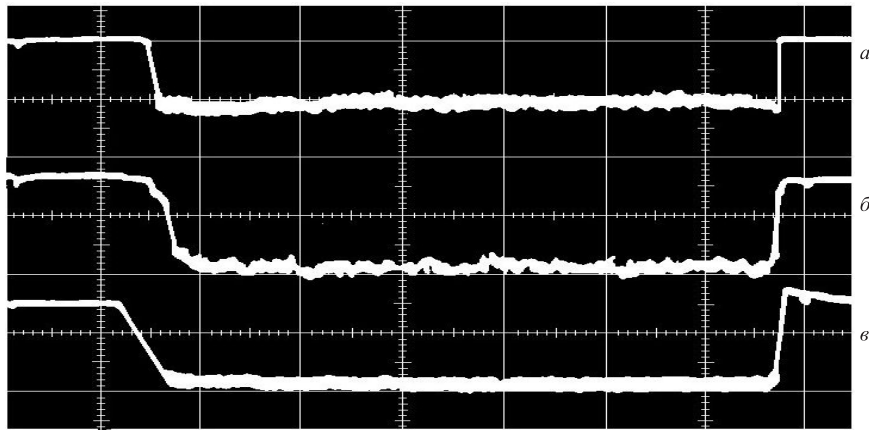


Рис. 6. Осциллограммы временной структуры при одновременном выводе вторичных частиц с трех мишеней после БВ в каналы 2, 4 и 5Н (лучи *a*, *б* и *в* соответственно); масштаб — 0,2 с/клетку

бавилась мишень канала 5Н, установленная в магнитном блоке 45). Работа осуществляется после БВ, на орбите оставлено 5 банчей (из 29). Видно, что, несмотря на добавление еще одной толстой мишени и еще одного бампа замкнутой орбиты и в условиях резко неоднородной плотности азимутального распределения ускоренных протонов, тонкая углеродная мишень позволяет обеспечить высокое качество и, следовательно, высокую эффективность использования пучка ускорителя для экспериментов.

2. ФОРМИРОВАНИЕ ПУЧКА НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

Геометрические характеристики элементов канала 5Н и их размещение относительно центра внутренней мишени М представлены в таблице.

Формирование размеров пучка нейтральных частиц осуществляется системой латунных коллиматоров, обложенных со всех сторон свинцом (К2 и К3) либо железом (К4 и К5). В промежутке между К2 и К3 расположен гамма-фильтр (ГФ) в виде вертушки с набором свинцовых пластин диаметром 7 см. Толщина пластин меняется от 0 до 20 см. ГФ предназначен для подавления гамма-квантов в пучке нейтронов.

Название элемента	Длина элемента L , см	Расстояние от центра внутренней мишени до центра элемента L_0 , см	Диаметр D , см, и поперечные размеры элементов канала $x \times y$, см ²	
			$Z = L_0 - L/2$	$Z = L_0 + L/2$
			x и y	x и y
Внутренняя мишень М канала 5Н	3	0	$D = 0,3$	$D = 0,3$
Коллиматор К1	120	2904		
Коллиматор К2	147	3108	$1,05 \times 1,57$	$1,1 \times 1,65$
Гамма-фильтр	10	3200	$D = 7$	$D = 7$
Коллиматор К3	200	3318	$1,11 \times 1,66$	$1,18 \times 1,77$
Головной пучковый затвор ГПЗ	150	3513	$D = 20$	$D = 20$
Магнит СП-129	400	3850	35×10	35×10
Ионопровод	3200		$D = 20$	$D = 20$
Коллиматор К4	250	7450	$2,53 \times 3,79$	$2,61 \times 3,92$
Коллиматор К5	250	7750	$2,63 \times 3,94$	$2,72 \times 4,07$
Ионопровод	950		$D = 20$	$D = 20$
Пучковый затвор установки ПЗУ	150	8950	$D = 20$	$D = 20$
Магнит СП-94	50	9200	15×25	15×25
Магнит СП-40А	180	1160	50×150	50×150

После К3 расположен головной пучковый затвор (ГПЗ), предназначенный для перекрытия пучка нейтронов. Следом за ГПЗ находится очищающий магнит СП-129 для удаления из пучка заряженных частиц. Далее пучок нейтронов проходит по вакуумному ионопроводу.

Все перечисленное выше оборудование канала 5Н расположено непосредственно в кольцевом зале ускорителя У-70.

Кольцевой зал ускорителя соединен со зданием 450 подземным туннелем. В этом туннеле расположены еще два коллиматора К4 и К5, которые окончательно формируют размеры пучка нейтронов. За К5 следует вакуумный ионопровод и далее пучковый затвор установки (ПЗУ). В здании 450 находится еще один очищающий магнит СП-94.

Первым на канале 5Н расположен регулируемый по вертикали коллиматор (К1), который позволяет установить минимальный зазор в 1 мм между его двумя щеками. К1 применялся при измерении спектра нейтронов с использованием адронного калориметра АК для уменьшения интенсивности нейтронного пучка при рабочем режиме наведения на внутреннюю мишень канала 5Н.

Данная система коллиматоров позволяет получить размер пучка нейтральных частиц на расстоянии 110 м от внутренней мишени (М): по x — 40 мм, по y — 60 мм.

3. РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА КАНАЛА

Для расчетов размеров радиационной защиты нейтрального канала 5Н были приняты следующие исходные данные:

- интенсивность пучка протонов на внутреннюю мишень $5 \cdot 10^{11}$ (пр./цикл)
- эффективность мишени 70 %
- энергия нейтронов 55 ГэВ
- толщина ГФ на пучке нейтронов 5 см

Рожденные на мишени отрицательные p и K -мезоны отклоняются 46-м кольцевым магнитным блоком влево от канала 5Н и, распадаясь, образуют мюонный факел. Для ослабления дозы от мюонов до уровня, соответствующего контрольному, необходима защита общей толщиной порядка $2 \cdot 10^4$ г/см². Мюонная защита канала (МЗ), как показано на рис. 1, состоит из ряда бетонных блоков ($1 \times 2 \times 4$ м) и стальной защиты размерами: в продольном направлении — 14,5 м, поперечном — 4,5 м, вертикальном — 3,5 м. Высота железа над осью пучка — 2,5 м. Кроме того, в промежутке между кольцевым залом ускорителя У-70 и зданием 450 сделана грунтовая обваловка канала.

Радиационной защитой вдоль пучка нейтронов служат коллиматоры К1, К2, К3, К4 и К5. К2 и К3 обложены свинцом сечением $0,68 \times 0,68$ м, длиной 1,4 м и 2 м соответственно. К4 и К5 обложены железом сечением

0,45 × 0,45 м, длиной 2,5 м каждый. Кроме этого, в кольцевом зале ускорителя и туннеле установлена дополнительная защита (ДЗ) из железа. Эти две части ДЗ расположены по отношению друг к другу уступом так, чтобы перекрыть сечение туннеля 1,8 × 1,8 м, и имеют длину 2,5 м каждый.

Поглотителем пучка является задняя стена здания 450, сложенная из бетонных блоков и представляющая собой куб размером 8 × 8 × 8 м.

4. РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛА 5Н

Импульсные спектры и интенсивности нейтральных частиц канала нейтронов, γ -квантов и K_L^0 -мезонов были получены с использованием пакета программ GEANT-3.21 [7], где была задана полная геометрия формирующей части канала 5Н. При моделировании использовались генераторы адронов HEISHA [7], FLUKA [7], а для мезонов — еще и данные из экспериментов. Характеристики нейтронов и K_L^0 -мезонов были получены при толщине ГФ, равной 10 см, а для γ -квантов — 0 см соответственно. Интенсивность пучка протонов на внутреннюю мишень $5 \cdot 10^{11}$ пр./с. Расстояние от внутренней мишени (М) — 104 м, что соответствует положению мишени установки (МУ) ЭКСЧАРМ.

На рис. 7 приведен импульсный спектр γ -квантов (HEISHA), интенсивность $\sim 1,9 \cdot 10^6$ γ -квантов/с.

Полученный спектр нейтронов (HEISHA) показан на рис. 8, интенсивность $\sim 2 \cdot 10^6$ нейтронов/с, средний импульс ~ 50 ГэВ/с.

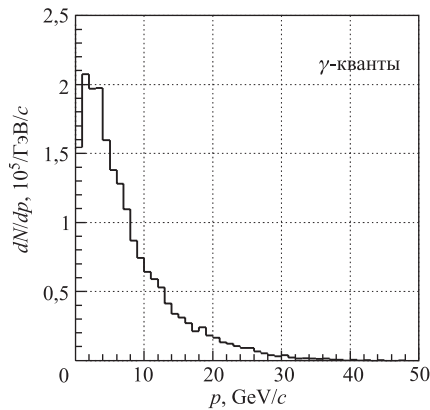


Рис. 7. Импульсный спектр γ -квантов (HEISHA), интенсивность $\sim 1,9 \cdot 10^6$ γ -квантов/с

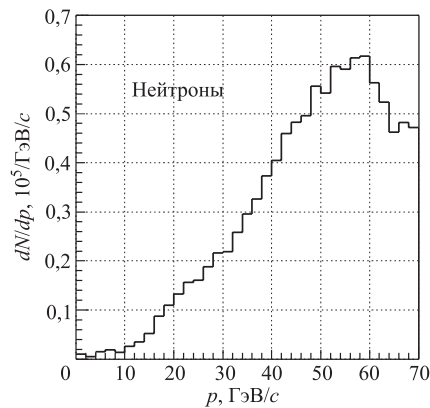


Рис. 8. Спектр нейтронов (HEISHA)

Импульсный спектр K_L^0 — мезонов приведен на рис. 9, интенсивность менялась в диапазоне от 2 до 2,4 % по отношению к пучку нейтронов в зависимости от модели рождения (HEISHA, FLUKA, экспериментальные данные).

Данный импульсный спектр K_L^0 -мезонов из бериллиевой мишени был получен с использованием дифференциальных сечений рождения K^{+-} , K^- -мезонов на основе параметризации инвариантных сечений их рождения в протон-бериллиевых взаимодействиях [8–10]. При этом связь между выходами K_L^0 - и K^{+-} , K^- -мезонов задавалась соотношением $K_L^0 = (K^+ + K^-)/2$.

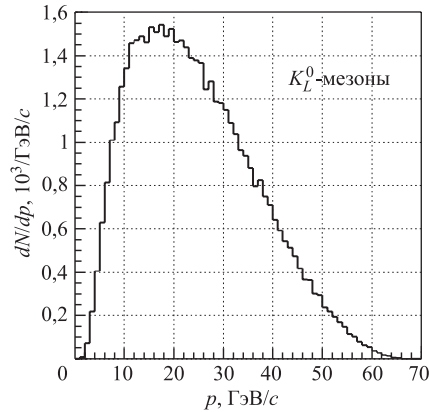


Рис. 9. Импульсный спектр K_L^0 -мезонов

5. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ КАНАЛА И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

В измерительном павильоне 450 размещается аппаратура установки ЭКСЧАРМ (рис. 2), в состав которой входят:

- спектрометрический магнит СП-40А;
- пропорциональные камеры (ПК);
- сцинтилляционные счетчики (Г1, Г2, А);
- многоканальные пороговые газовые черенковские счетчики (МППЧС);
- адронный калориметр (АК);
- телескоп для мониторингования пучка (МН);
- мишень установки (МУ).

Описание аппаратуры спектрометра ЭКСЧАРМ и его физические характеристики приведены в работе [11]. С пульта управления СП-40А можно было оперативно (за время ~ 5 мин) изменить величину магнитного поля на обратную, а также в режиме малых токов произвести размагничивание магнита. Величина магнитного поля контролировалась датчиком Холла. Измеренная карта магнитного поля спектрометрического магнита СП-40А в плоскости xoz при $y = 20$ см представлена на рис. 10 [12, 13].

Телескоп для мониторингования пучка нейтронов представлял из себя три сцинтилляционных счетчика (Мн1, Мн2, Мн3) диаметром 10 см и толщиной 1 см каждый, расположенных друг за другом. Счетчик Мн1 включался на антисовпадение со счетчиками Мн2 и Мн3, которые, в свою очередь, включались на совпадение между собой. Сразу за Мн1 была поставлена алюминиевая

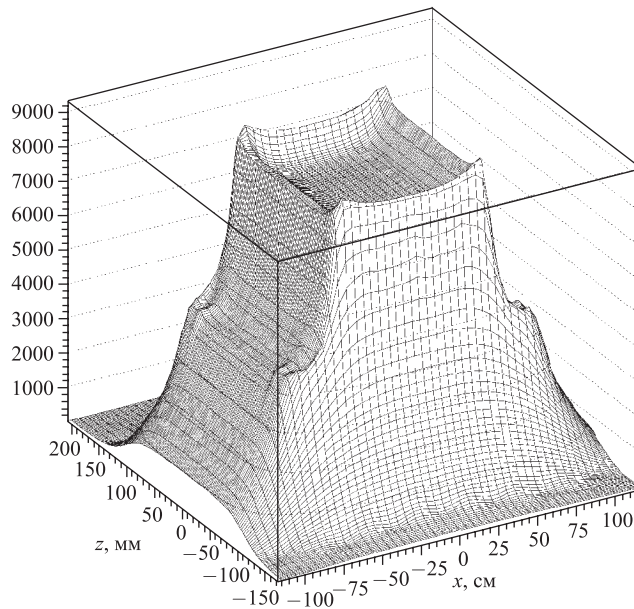


Рис. 10. Карта магнитного поля спектрометрического магнита СП-40А в плоскости xoz при $y = 20$ см

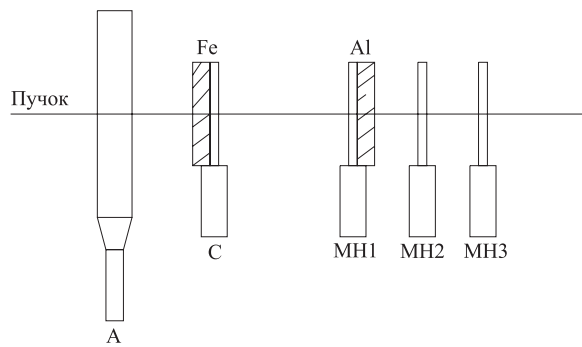


Рис. 11. Схема измерения профиля (x и y) пучка нейтронов канала 5Н

пластина-конвертор диаметром 10 см и толщиной 1 см. Измерение интенсивности пучка нейтронов (при толщине ГФ 5 см) с помощью данной системы показало: при интенсивности $\sim 5 \cdot 10^{11}$ пр./сброс на внутреннюю мишень

канала 5Н интенсивность пучка нейтронов в канале 5Н — $\sim 5 \cdot 10^6$ нейтронов/сброс. Рабочая длительность сброса $\sim 1,2$ с.

На рис.11 приведена схема измерения профиля (x и y) пучка нейтронов канала 5Н. Расстояние от М ($R = +25$ мм, $z = 0$ мм) ~ 104 м, ГФ — 10 см, СП-129 включен. А — счетчик антисовпадений, Мн1, Мн2 и Мн3 — нейтронный монитор МН, а С — дистанционно управляемый сцинтилляционный счетчик длиной 10 см, шириной и толщиной 1 см. Непосредственно перед ним стоял конвертор (Fe), который имел такие же размеры, как и С. Счетчик А включался на антисовпадения со счетчиком С.

Измерения в x - и y -проекциях профиля пучка проводились с шагом 1 см. $N/Моп$ — величина отношения счета С&А к МН.

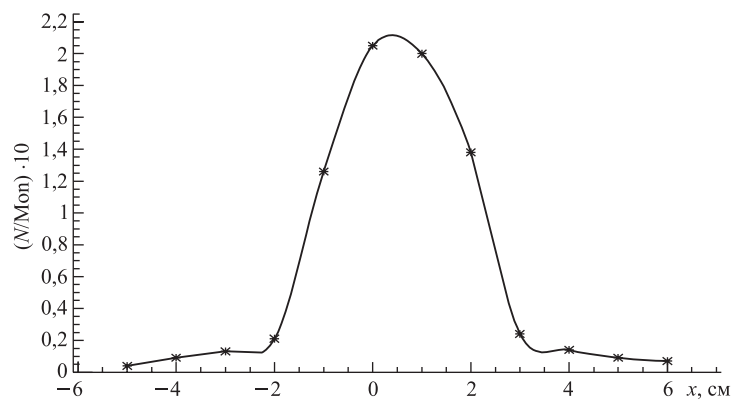


Рис. 12. Профиль пучка нейтронов канала 5Н в x -проекции

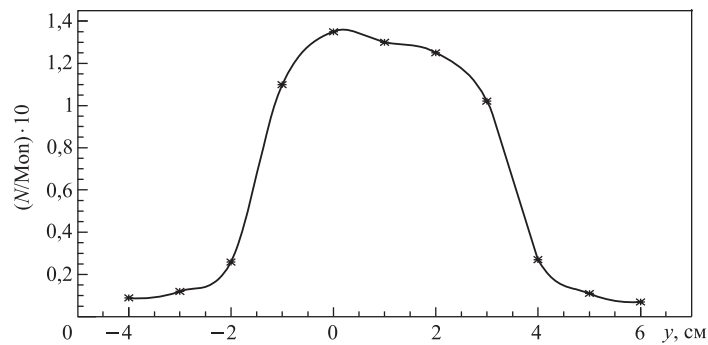


Рис. 13. Профиль пучка нейтронов канала 5Н в y -проекции

На рис. 12 и 13 показаны данные профили в x - и y -проекциях соответственно. Полная ширина на полувывоте для $x \sim 35$ мм, для $y \sim 50$ мм.

Полученные с использованием системы трековых детекторов x - и y -координаты вершины взаимодействия нейтронов на мишени МУ установки ЭКСЧАРМ в рабочем наборе статистики показаны на рис. 14 и 15. Из рисунка видно, что полная ширина на полувывоте для $x \sim 25$ мм, для $y \sim 42$ мм.

Энергетический спектр нейтронов измерялся АК, который представлял собой сборку из девяти модулей ($15 \times 15 \times 160$ см). Конструкция и характеристики АК приведены в статье [14]. Процедура измерения и восстановления

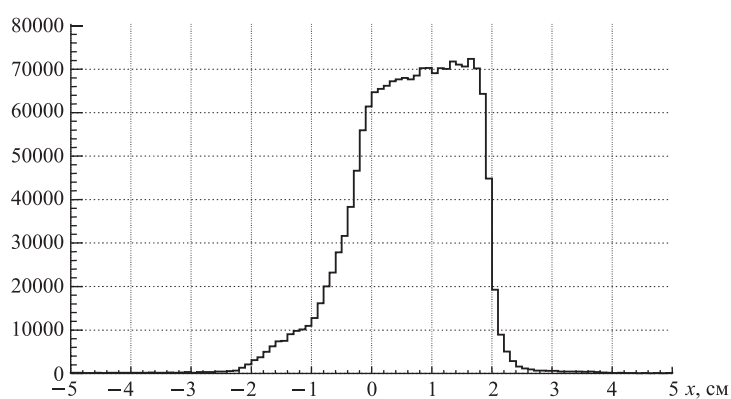


Рис. 14. x -координата вершины взаимодействия нейтронов на мишени МУ установки ЭКСЧАРМ

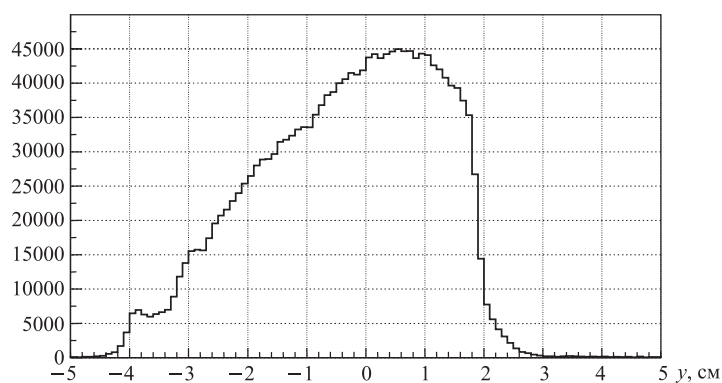


Рис. 15. y -координата вершины взаимодействия нейтронов на мишени МУ установки ЭКСЧАРМ

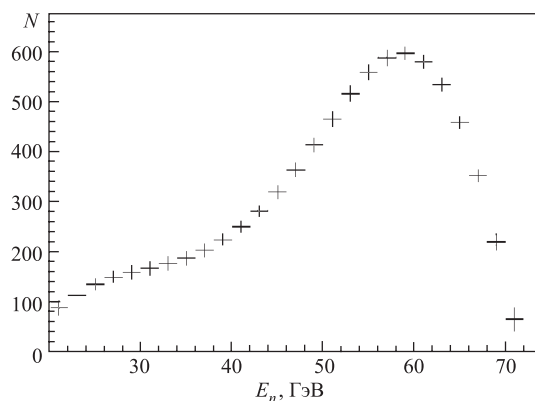


Рис. 16. Энергетический спектр нейтронов

спектра нейтронов описана в работе [15]. На рис. 16 показан данный спектр нейтронов. Средняя энергия нейтронов в канале 5Н \sim 51 ГэВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На ускорителе У-70 ИФВЭ (Протвино) спроектирован и создан канал 5Н. На этом канале с помощью спектрометра ЭКСЧАРМ успешно выполнены эксперименты по исследованию очарованных и странных частиц и поиску узких барионных резонансов в нейтрон-ядерных взаимодействиях.

Авторы глубоко признательны В. Г. Кадышевскому, А. Н. Сисакяну, А. А. Логунову, А. М. Балдину и И. А. Савину за поддержку данной программы исследований на пучке нейтральных частиц 5Н ускорителя У-70 ИФВЭ, сотрудникам ЛФЧ, ЛВЭ, ЛИТ и СНЭО, способствовавшим выполнению эксперимента на разных этапах его подготовки и проведения.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 06-07-89035.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гридасов В. И. и др. // Труды VII Международной конференции по ускорителям заряженных частиц, Т. 1. Ереван, 1970. С. 509.
2. Гридасов В. И. и др. Препринт ИФВЭ 73-78. Серпухов, 1973.
3. Гридасов В. И. и др. // АЭ. 1971. Т. 30, вып.6. С. 520.

4. *Адо Ю. М., Асеев А. А. и др.* Препринт ИФВЭ 88-9. Серпухов, 1988.
5. *Адо Ю. М., Асеев А. А. и др.* // Труды XI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Т. 2. Дубна, 1989. С. 315.
6. *Гуров Г. Г., Зеленов Б. А. и др.* Препринт ИФВЭ 77-18. Серпухов, 1977.
7. GEANT – Detector Description and Simulation Tool, CERN, Geneve, 1993.
8. *Bonesini M. et al.* // Eur. Phys. J. C. 2001. V. 20. P. 13.
9. *Atherton H. M. et al.* CERN 80-07, Geneve, 1980.
10. *Ambrosini G. et al.* // Eur. Phys. J. C. 2001. V. 10. P. 605.
11. *Aleev A. N., Arefev V. A. et al.* Instrum. Exp. Tech. 42; 1999. No. 4. P. 481–492.
12. *Aleev A. N., Balandin V. P., Bordyukov A. A. et al.* Prepared for 6th European Particle Accelerator Conference (EPAC 98), Stockholm, Sweden, 22–26 June 1998. Stockholm 1998, EPAC 98. P. 1946–1947.
13. *Алеев А. Н., Баландин В. П. и др.* Препринт ОИЯИ Р1-97-368. Дубна, 1997.
14. *Гаврищук О. П., Еремеев Р. В. и др.* Препринт ОИЯИ Р1-93-120. Дубна, 1993.
15. *Алеев А. Н., Баландин В. П. и др.* Препринт ОИЯИ Р1-94-312. Дубна, 1994.

Получено 23 мая 2008 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 12.08.2008.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,06. Уч.-изд. л. 1,26. Тираж 330 экз. Заказ № 56271.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/