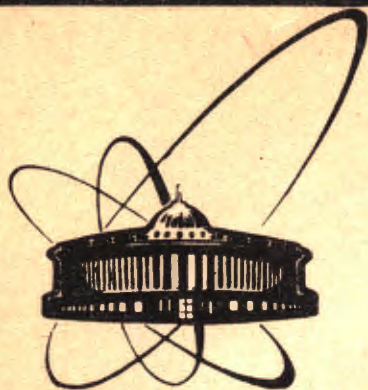


89-255



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P15-89-255

А.В.Белозеров, И.Винцоур, З.Длоуги

ДЕТЕКТОР ДЛЯ МАГНИТНОГО СПЕКТРОМЕТРА
МСП-144

1989

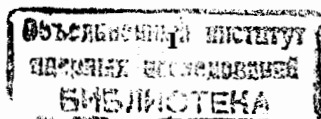
ВВЕДЕНИЕ

В последнее время широкий интерес вызывают эксперименты по исследованию нейтроноизбыточных ядер, т.к. определение границы нуклонной стабильности и измерение масс ядер являются принципиально важными вопросами для ядерной физики. Для измерения масс ядер наиболее перспективными являются бинарные реакции, то есть реакции, в выходном канале которых образуются два ядра. В этом случае массу одного из них можно определить, измеряя угол вылета и энергию второго, сопряженного ядра. В бинарных реакциях можно измерить массу ядра даже в том случае, если оно нестабильно. Это обстоятельство особенно важно при измерении масс нейтроноизбыточных ядер, т.к. большинство из них нестабильны по отношению к вылету нейтронов.

Бинарные реакции с тяжелыми ионами, в которых образуются нейтроноизбыточные ядра, имеют следующие особенности: сечение таких реакций очень мало ($10^{-30} - 10^{-34} \text{ см}^2$), а угловое распределение продуктов реакций имеет острую направленность вперед, где фон от упруго рассеянного первичного пучка на много порядков больше измеряемого эффекта. Поэтому изучение нейтроноизбыточных ядер целесообразно проводить на магнитном спектрометре, который позволяет наиболее эффективно очиститься от упруго рассеянного первичного пучка и точно измерить энергию частиц.

Магнитные спектрометры используются для изучения ядерных реакций во многих лабораториях^{/1-9/}. Для определения характеристик продуктов ядерных реакций используется детектор^{/10-13/}, установленный в фокальной плоскости магнитного спектрометра, который должен с высокой эффективностью регистрировать продукты ядерных реакций, давать информацию для их идентификации по массе и заряду и измерять энергию частиц в широком диапазоне.

В данной статье описан детектор для магнитного спектрометра МСП-144^{/14,15/}, состоящий из четырехсекционной ионизационной камеры и двух позиционно-чувствительных пропорциональных счетчиков, приведены его параметры и результаты испытаний. Детектор предназначен для экспериментов по поиску нейтроноизбыточных легких ядер, которые планируется проводить на циклотроне У-400 ЛЯР ОИЯИ.



ДЕТЕКТОР

Схема экспериментальной установки для поиска легких нейтроноизбыточных ядер показана на рис.1. Проект детектора был сделан исходя из следующих требований: детектор должен надежно идентифицировать продукты ядерных реакций по заряду вплоть до $Z/\Delta Z = 20$ и по массе до $A/\Delta A = 40$. Для этого энергетические потери и остаточная энергия частиц должны измеряться с точностью несколько процентов в широком диапазоне.

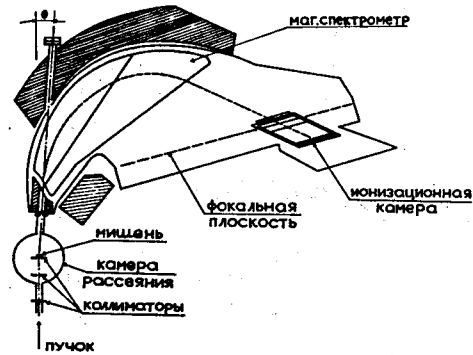


Рис.1. Схема экспериментальной установки.

Для измерения энергий продуктов с точностью 0,1 % позиционное разрешение детектора должно быть ≈ 1 мм. Кроме этого, детектор должен давать информацию о траекториях частиц (необходимую для корректировки угловой зависимости энергий и энергетических потерь частиц) и регистрировать те частицы, пробег которых не укладывается в объеме детектора, надежно работать при высокой загрузке и быть радиационно-стойким.

Чтобы выполнить перечисленные требования, нами был создан детектор, состоящий из ионизационной камеры с сеткой Фриша и двух позиционно-чувствительных пропорциональных счетчиков. Анод ионизационной камеры состоит из четырех частей: двух ΔE -электродов (для измерения ионизационных потерь частиц), E_R -электрода (для измерения остаточной энергии частиц) и "VETO"-электрода (для регистрации длиннопробежных частиц). Первый позиционно-чувствительный счетчик расположен между ΔE -электродами, лежит в фокальной плоскости магнитного спектрометра и измеряет координаты частиц на ней. Второй счетчик находится между ΔE_2 - и E_R -электродами и вместе с первым дает информацию о траекториях частиц.

Схема ионизационной камеры показана на рис.2. Входное окно ионизационной камеры, размером 18 x 260 мм, сделано из лавсана толщиной 10 мкм. Фольга приклеивается эпоксидной смолой и поддерживается сеткой из бериллиевой бронзы с диаметром нити 0,2 мм, намотанной на рамку с шагом 2 мм. Как показали испытания, такая технология изготовления входного окна обеспечивает работу детектора с давлением до 760 торр без ухудшения вакуума в камере магнитного спектрометра.

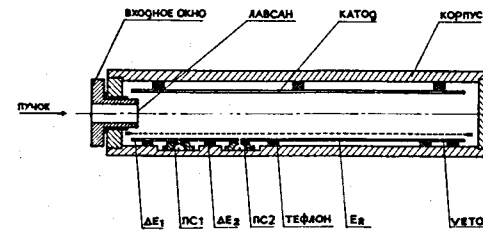


Рис.2. Поперечное сечение детектора ΔE_1 , ΔE_2 , E_R , "VETO" - аноды ионизационной камеры, ПС1 и ПС2 - позиционно-чувствительные пропорциональные счетчики.

Анод и катод ионизационной камеры были изготовлены из нержавеющей стали и крепились к корпусу камеры на тефлоновых изоляторах. Такое техническое решение позволило существенно снизить емкость электродов относительно "земли", что особенно важно для получения хорошего энергетического разрешения. Форма электродов ромбообразная, с углом наклона 41° , равным углу падения частиц на фокальную плоскость.

Сетка Фриша сделана из бериллиевой бронзы с диаметром нити 50 мкм и с шагом 1 мм. Незащитность экранировки анода сеткой Фриша σ для малых значений r/d равна ^{16/}:

$$\sigma = (d/2\pi c) \lg(d/2\pi r), \quad (1)$$

где r - диаметр нити сетки, d - шаг намотки сетки и c - расстояние между сеткой и анодом. В нашем случае $\sigma = 1,5 \%$, что вполне достаточно для эффективной экранировки анода.

В качестве рабочего газа был выбран изобутан (C_4H_{10}). При длительной работе ионизационной камеры происходит ухудшение свойств рабочего газа, что приводит к ухудшению энергетического разрешения. Испытания показали, что в нашем случае в течение суток не наблюдается заметного ухудшения энергетического разрешения.

В таблице 1 приведены основные характеристики ионизационной камеры. Расстояние между электродами в ионизационной камере были следу-

ющие: катод - сетка Фриша 37 мм; сетка Фриша - анод 8 мм; ΔE_1 -электрод - ΔE_2 -электрод 2 мм и ΔE_2 -электрод - E_R -электрод также 2 мм.

Таблица 1

| Электрод | Размер [мм] | Емкость электрод - "земля" [пФ] |
|----------|-------------|---------------------------------|
| E_1 | 41 x 305 | 67 |
| E_2 | 60 x 305 | 92 |
| E_R | 202 x 305 | 223 |
| "VETO" | 13 x 305 | 29 |

решения ΔE_1 -секции ионизационной камеры. Подавая на входное окно потенциал, равный среднему значению потенциала катода и сетки Фриша, можно существенно уменьшить искажение этого поля. При давлении газа в детекторе 270 торр, были найдены оптимальные значения потенциалов на катоде, сетке Фриша и на входном окне: -2000 В, -500 В и -1200 В соответственно.

ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЙ СЧЕТЧИК

Для определения координат частиц в фокальной плоскости магнитного спектрометра и их траекторий использовались два позиционно-чувствительных пропорциональных счетчика с резистивной нитью. Координаты частиц определялись методом деления заряда на нити, т.е. из отношения заряда, собранного с одного конца нити, к заряду, собранному с обоих концов нити. Этот метод более привлекателен, чем определение координаты с помощью линии задержки, т.к. он гораздо проще по конструкции счетчика и технологии изготовления. Однако, для того чтобы получить хорошее позиционное разрешение и линейную зависимость измеряемых координат частиц от их позиций над пропорциональным счетчиком, предусилители должны иметь вполне определенные параметры и, кроме этого, необходимо провести оптимальную фильтрацию сигналов усилителями. Методу определения координат частиц с помощью деления заряда посвящено большое количество работ. Следует отметить работы ^{/17-23/}, где он наиболее подробно рассмотрен.

Основными характеристиками позиционно-чувствительного пропорционального счетчика являются удельное сопротивление r и удельная емкость c . Как было показано в работе ^{/22/}, позиционное разрешение может быть вычислено по формуле:

$$\frac{\Delta x}{l} = \frac{e}{\eta M Q_0} \left\{ \frac{kT}{2} \frac{\tau_S}{r l} \right\}^{1/2}, \quad (2)$$

где l - длина резистивной нити, Q_0 - начальный заряд в счетчике, M - коэффициент газового усиления, η - фактор, учитывающий уменьшение коэффициента газового усиления из-за конечного времени нарастания импульса, e - заряд электрона, k - постоянная Больцмана, T - температура и τ_S - постоянная времени фильтрующей цепи. Формула (2) справедлива, когда применяется CR-RC фильтрующая цепь с постоянной времени $\tau_S \geq 0,5 \tau_D$, где τ_D есть постоянная времени пропорционального счетчика и она равна $r c l^2$.

Все выше сказанное справедливо, когда используются предусилители с низким шумом и с входным сопротивлением, которое мало по сравнению с сопротивлением резистивной нити. Мы используем предусилители "ORTEC 142B", которые удовлетворяют всем этим требованиям.

На рис.2 видно поперечное сечение позиционно-чувствительных пропорциональных счетчиков (ПС1, ПС2). Анодом счетчиков служит нить из никрома диаметром 16 мкм с удельным сопротивлением $r = 5 \text{ Ом/мм}$. Длина анода $l = 300 \text{ мм}$ и его удельная емкость $c = 4 \cdot 10^{-14} \text{ Ф/мм}$. Постоянная времени счетчика $\tau_D = 20 \text{ нс}$. По формуле (2) было оценено позиционное разрешение наших пропорциональных счетчиков. В предположении, что потери энергии частиц над счетчиком составляют $\approx 300 \text{ кэВ}$, коэффициент газового усиления $M \approx 10^3$, а постоянная времени усилителя $\tau_S = 0,5 \text{ мкс}$, разрешение составляет 0,5 %, т.е. 1,5 мм.

Позиционное разрешение счетчика ухудшается из-за многократного рассеяния частиц во входном окне и в газе ионизационной камеры, а также из-за статистической флуктуации ионизационных потерь вдоль трека частиц. Проведенная нами оценка вклада этих эффектов в позиционное разрешение пренебрежимо мала по сравнению с вкладом от шумов резистивной нити, определенным по формуле (2).

Кроме позиционного разрешения, важной характеристикой позиционно-чувствительного счетчика является линейная зависимость измеряемой координаты частицы от ее позиции над счетчиком. Выбранная нами постоянная времени фильтрующей цепи $\tau_S = 0,5 \text{ мкс}$ при постоянной времени счетчика $\tau_D = 20 \text{ нс}$ должна обеспечивать линейность не хуже 0,1 % во всем диапазоне измеряемой координаты ^{/22/}.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Детектор испытывался на пучке ионов $^{11}\text{B}^{+2}$ циклотрона У-400 ЛЯР ОИЯИ. Нами были определены основные параметры детектора: амплитудное разрешение отдельных секций ионизационной камеры, координатное разрешение пропорционального счетчика и его линейность.

Для измерения параметров детектора была выбрана следующая схема опыта. Чтобы исключить влияние конечного размера пучка на результаты измерений, позолоченная вольфрамовая проволока диаметром 20 мкм использовалась как мишень. Ионы ^{11}B с энергией 120 МэВ рассеивались на этой мишени. Таким образом, мы создали точечный источник частиц с широким спектром энергий. На входном окне ионизационной камеры была установлена маска с вертикальными щелями, отстоящими друг от друга на расстоянии 13,6 мм и с шириной 1 мм. Одна из щелей имела ширину 0,5 мм. Через щель маски проходят только те частицы, у которых разброс по энергии порядка 0,1%. Это позволило измерить с хорошей точностью собственное амплитудное разрешение ΔE_1 -, ΔE_2 - и E_R -секций ионизационной камеры. Для того, чтобы получить равномерную интенсивность частиц на щелях, мы сканировали пучок ионов ^{11}B по маске, меняя магнитное поле спектрометра МСТ-144. Координатные спектры были измерены при трех входных апертурах магнитного спектрометра: $\pm 0,55^\circ$, $\pm 0,27^\circ$ и $\pm 0,14^\circ$. Анализ полученных данных позволил нам определить собственное разрешение и линейность пропорционального счетчика.

На рис.3 показаны амплитудные спектры, снятые с ΔE_1 -, ΔE_2 - и E_R -секций. Основным фактором, определяющим разрешение, являются наводки от высокочастотного генератора циклотрона.

Для их устранения мы изолировали детектор от вакуумной камеры магнитного спектрометра и сделали единое заземление с аппаратурой, установленной в измерительном центре. Эти меры позволили существенно снизить уровень наводок, однако полностью устранить их не удалось. Как видно из табл.1, емкости электрод - "земля" отдельных секций ионизационной камеры довольно большие. Поэтому можно было ожидать значительного увеличения шумов предусилителей и ухудшения энергетического разрешения. Однако, как оказалось, вклад этих шумов не превышает

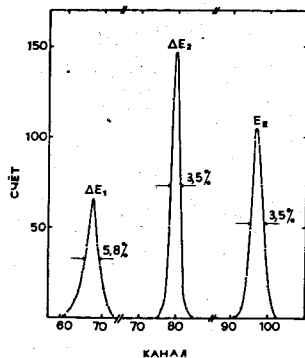


Рис.3. Амплитудное разрешение ΔE_1 -, ΔE_2 - и E_R -секций ионизационной камеры.

≈ 100 кэВ. Амплитудное разрешение ΔE_1 -секции несколько хуже, чем ΔE_2 - и E_R -секций. Это можно объяснить тем, что нам не удалось полностью устранить искажение электрического поля у входного окна камеры.

Для определения собственного разрешения первого позиционно-чувствительного пропорционального счетчика, как уже отмечалось выше, нами были проведены измерения координатных спектров частиц для щелей шириной 1 мм и 0,5 мм и для трех разных значений входной апертуры магнитного спектрометра. Измеренные ширины координатных спектров зависят от величины входной апертуры магнитного спектрометра и от ширины щели маски. Аппроксимируя полученные данные к нулевой апертуре магнитного спектрометра и к нулевой ширине щели маски, мы получили собственное разрешение позиционного

счетчика, которое составляет 0,9 мм.

На рис.4 показан координатный спектр, измеренный при входной апертуре магнитного спектрометра $\pm 0,14^\circ$. Стрелкой отмечен пик, соответствующий щели шириной 0,5 мм. Среднеквадратичное отклонение измеренных координат от истинной позиции частиц, которое было определено методом наименьших квадратов, равно 0,2 мм.

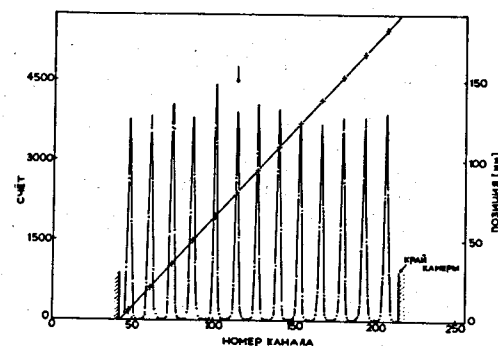


Рис.4. Координатный спектр и линейность позиционно-чувствительного пропорционального счетчика. Стрелкой обозначено измерение с щелью 0,5 мм.

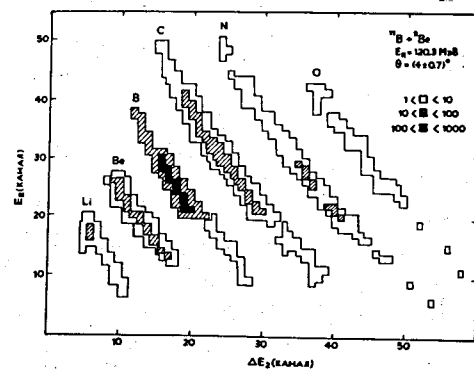


Рис.5 $(\Delta E_2, E)$ -матрица для реакции $^{11}\text{B} + ^9\text{Be}$.

На рис.5 показана матрица $(\Delta E_2, E)$ для реакции $^{11}\text{B} + ^9\text{Be}$. Можно отметить, что полученное энергетическое разрешение позволяет надежно проводить идентификацию продуктов ядерных реакций.

На рис.6 показан координатный спектр ядер ^{12}C , полученный в реакции $^{12}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{12}\text{C})^{11}\text{B}$. Видно что координатное разрешение достаточно для выде-

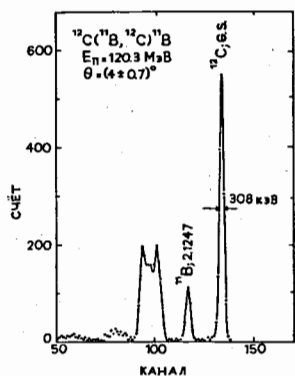


Рис.6. Координатный спектр ^{12}C из реакции $^{12}\text{C}(^{11}\text{B}, ^{12}\text{C})^{11}\text{B}$.

ления отдельных уровней ядер в выходном канале реакций.

Возможности детектора и надежность его работы были проверены при регистрации и идентификации продуктов ядерных реакций $^{11}\text{B} + ^7\text{Li}$ и $^{11}\text{B} + ^9\text{Be}$ на циклотроне У-400. Созданная детектирующая система полностью отвечает предъявленным к ней требованиям для проведения экспериментов по синтезу нейтронизбыточных ядер.

Авторы благодарны Ю.Э.Пенионжевичу за постоянный интерес и поддержку в работе, Ш.Пискоржу за полезные обсуждения, В. Симеону за помощь в подготовке чертежей, а также Э.Д.Покровской и До Тхи Зиэм Чин за подготовку рисунков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shapira D. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1975, v.129, p.123.
2. Erskine J.R. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1976, v.135, p.67.
3. Ophel T.R. and Johnston A. - Nucl. Instr. and Meth., 1978, v.157, p.461.
4. Ikegami H. et al. - RCNP-Annual Report 1978.
5. Vermeulen J.C. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1981, v.180, p.93.
6. Tassan-Got L. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1982, v.200, p.271.
7. Cunningham R.A. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1985, v.A234, p.67.
8. Pringle D.M. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1986, v.A245, p.230. p.201.
10. Fulbright H.W. - Nucl. Instr. and Meth., 1979, v.162, p.21.
11. Winfield J.S. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1986, v.A251, p.297.
12. Ophel T.R. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1988, v.A272, p.734.
13. Белозеров А.В. и др. - Препринт ОИЯИ, 13-85-535, Дубна, 1985.
14. Майдигов В.З. и др. - ПТЭ, 1979, №4, с.68.
15. Basargin Yu.G. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1975, v.126, p.413.
16. Bunemann T.E. et al. - Can. J. Res., 1949, v.27A, p.191.
17. Radeka V. - IEEE Trans. Nucl. Sci., 1974, NS-21, p.51.

18. Alberi J.L. and Radeka V. - IEEE Trans. Nucl. Sci., 1976, NS-23, p.251.
19. Radeka V. and Rehak P. - IEEE Trans. Nucl. Sci., 1978, NS-25, p.46.
20. Radeka V. and Rehak P. - IEEE Trans. Nucl. Sci., 1979, NS-26, p.225.
21. Ford J.L.C., Jr. - Nucl. Instr. and Meth., 1979, v.162, p.277.
22. Matoba M. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1979, v.165, p.469.
23. Daehnick W.W. and Niedra J.M. - Nucl. Instr. and Meth., 1984, v.220, p.377.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 апреля 1989 года.