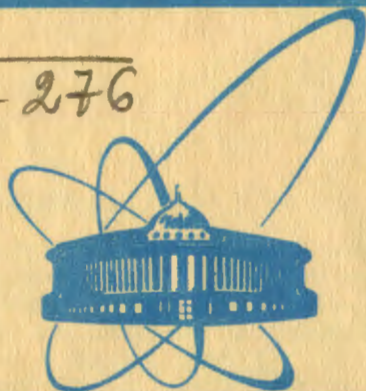


81-298

3-276



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

3479/2-81

13/11-81

P13-81-298

Ю.В.Заневский, К.Д.Калантаров, Е.А.Матюшевский,
С.А.Мовчан, З.Нетушилова, С.А.Рожнятовская,
В.Д.Пешехонов

ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ДЕТЕКТОР
ПОВЫШЕННОГО ДАВЛЕНИЯ
ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

1981

ВВЕДЕНИЕ

В последние пять лет многопроволочные пропорциональные камеры все чаще используются для научных исследований в различных областях науки и техники. В Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, в частности, на основе пропорциональных камер были созданы установки УРАН для тонкослойной радиохроматографии^{1,2/} и АРД-1 для молекулярной дифрактометрии белковых монокристаллов^{3/}. Целью настоящей работы являлось изучение возможности создания многопроволочного позиционно-чувствительного детектора для гамма-интроскопии при использовании радионуклидов с энергией гамма-излучения в диапазоне $50 \div 90$ кэВ.

1. КОНСТРУКЦИЯ ДЕТЕКТОРА

Позиционно-чувствительный детектор представляет собой многопроволочную пропорциональную камеру с дрейфовыми промежутками. Камера размещается в алюминиевом боксе, обеспечивающем возможность работы детектора при избыточном давлении в 5 атм. Схематическое изображение детектора представлено на рис. 1. Катодные электроды К намотаны ортогонально проволокой диаметром 100 мкм с шагом 1 мм. Проволоки объединены в группы по 4, каждая группа соединяется непосредственно с линией задержки /ЛЗ/, служащей для съема соответствующей координатной информации. Анодная плоскость А намотана проволокой диаметром 20 мкм с шагом 2 мм. Все анодные проволоки объединены общей шиной, с которой снимаются анодные сигналы. На расстоянии 34 мм от катодных плоскостей расположены дрейфовые электроды В и С.

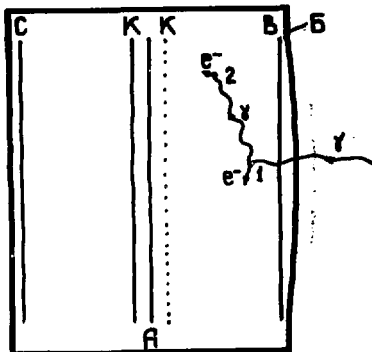


Рис. 1. Схематическое изображение детектора. В -алюминиевый бокс, А и К - анод и катод пропорциональной камеры, В и С - электроды дрейфовых промежутков.

Напряжение подается на анодную плоскость и на дрейфовые электроды. Расстояние между анодом и катодами - 4 мм. Эффективная толщина детектора - 76 мм, рабочая площадь - $300 \times 300 \text{ мм}^2$. Погонная задержка электромагнитных линий - около 2 нс/мм. Детектор заполняется газовой смесью ксенона /90%/ и метана /10%/ до максимального давления 5 атм.

2. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

Рассмотрим некоторые особенности взаимодействия гамма-излучения с веществом, влияющие на параметры детектора.

Для повышения эффективности регистрации гамма-излучения в качестве основной компоненты газовой смеси выбран ксенон ($Z=54$), плотность которого при нормальных условиях равна $5,49 \text{ мг/см}^3$. Гамма-квант, взаимодействуя с ксеноном в точке 1 /рис.1/, образует фотоэлектрон с энергией $(E_\gamma - E_K)$, где $E_K = 34,6 \text{ кэВ}$ - энергия ионизации К-слоя атома. Возбуждение атома снимается за время $\sim 10^{-15} \text{ с}$ либо путем испускания электрона Оже с энергией $(E_K - 2E_L)$ около $24,5 \text{ кэВ}$, либо путем испускания флуоресцентного кванта с энергией $30,4 \text{ кэВ}$. Последний процесс является основным, так как имеет место в 87% случаев. Флуоресцентный квант имеет среднюю величину свободного пробега в ксеноне при избыточном давлении 5 атм около $3,4 \text{ см}$ / $20,7 \text{ см}$ при нормальных условиях/ и в точке 2 /рис.1/ взаимодействует с атомами ксенона. Таким образом, если точки взаимодействия 1 и 2 обе расположены в чувствительном слое детектора, каждому первичному гамма-кванту будут отвечать два сигнала - истинный /точка 1/ и фоновый /точка 2/. При различном энерговыделении истинное событие может быть определено путем анализа амплитуд анодных сигналов.

В точке 1 полное энерговыделение в 87% случаев определяется разностью энергий первичного и флуоресцентного квантов.

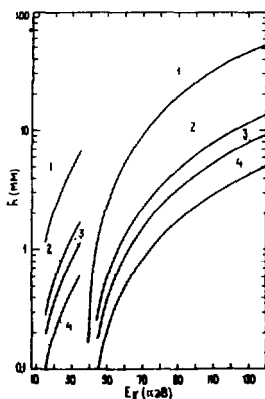


Рис.2. Пробег фотоэлектронов в ксеноне в зависимости от энергии взаимодействия гамма-кванта. Кривая 1 соответствует атмосферному давлению, кривые 2, 3, 4 - избыточному давлению в 3, 5 и 10 атм соответственно.

Пространственное разрешение детектора определяется величинами пробегов фотоэлектронов в газе. На рис. 2 приведены величины пробега фотоэлектронов (R) в ксеноне 141 при различном избыточном давлении для гамма-квантов различной энергии.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Характеристики детектора исследовались с помощью радиоактивных источников ^{241}Am и ^{109}Cd . В чувствительный объем камеры проходили гамма-кванты с энергией 59,5 и 87,7 кэВ соответственно.

Счетные характеристики

На рис. 3 приведены типичные счетные характеристики детектора при его облучении ^{241}Am и ^{109}Cd в зависимости от величины анодного напряжения в случае избыточного давления, равного 3,5 атм. Напряжение на дрейфовых электродах составляло 8 кв. Кривые 1 и 2 на рис. 4 определяют начало и конец плато счетных характеристик в зависимости от величины анодного напряжения U для различного избыточного давления P в детекторе.

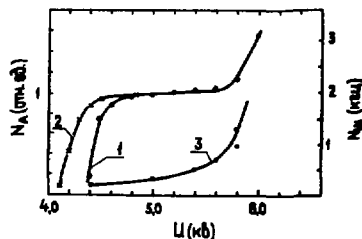


Рис. 3. Счетные характеристики в зависимости от величины анодного напряжения. Кривые 1 и 2 получены при использовании источников ^{241}Am и ^{109}Cd соответственно. Кривая 3 характеризует уровень собственных шумов детектора.

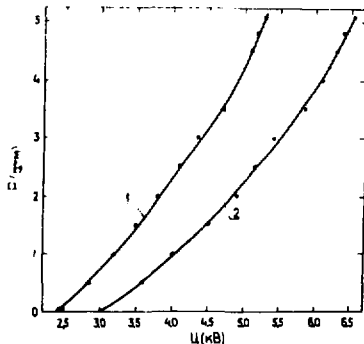


Рис. 4. Зависимость величины анодного напряжения, соответствующего началу /кривая 1/ и концу /кривая 2/ плато счетных характеристик, от величины давления газа в детекторе.

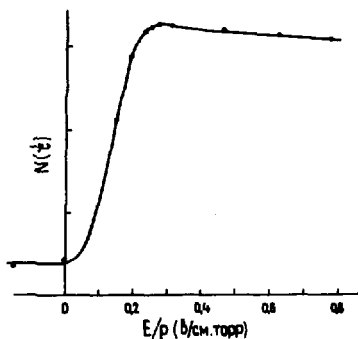


Рис.5. Зависимость скорости счета детектора от величины напряженности электрического поля дрейфовых промежутков.

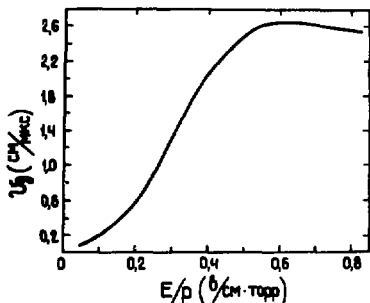


Рис.6. Скорость дрейфа электронов в газовой смеси Xe(90%) + CH₄(10%) в зависимости от величины E/p / по результатам работы /5/ /.

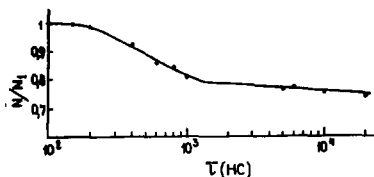


Рис.7. Относительное изменение счета детектора в зависимости от величины мертвого времени. E/p = 0,4 В/см. Торр.

Приведенные выше зависимости и все последующие получены при заполнении детектора газовой смесью Xe/90%/ + CH₄/10%/. Следует отметить, что изменений в характеристиках детектора в течение четырех месяцев после его заполнения замечено не было.

Зависимость интенсивности счета детектора от величины напряженности электрического поля дрейфовых промежутков (E/p) представлена на рис.5. Камера облучалась от источника ²⁴¹Am, анодное напряжение соответствовало центру плато счетной характеристики.

Величина скорости дрейфа электронов в зависимости от напряженности электрического поля для газовой смеси Xe + CH₄ показана на рис.6. Результаты заимствованы из работы /5/.

Первичные гамма-кванты могут инициировать появление двух сигналов детектора, разделенных во времени в связи с разной

длиной пути электронов в дрейфовом промежутке /события 1 и 2 на рис.1/. Поэтому с увеличением "мертвого" времени в регистрирующей аппаратуре интенсивность счета детектора уменьшается. На рис.7 показано относительное изменение скорости счета N/N_1 в зависимости от величины τ . N_1 соответствует скорости счета при $\tau = 100$ нс. Зависимость снята при низком уровне радиационной загрузки детектора. Видно, что с введением "мертвого" времени количество регистрируемых событий может быть уменьшено в нашем случае примерно на 20%.

Пространственное разрешение и контрастное отношение

Собственное пространственное разрешение детектора определялось с помощью хорошо коллимированного источника ^{241}Am . Определялось изменение "профиля" пучка в зависимости от величины анодного напряжения с помощью время-амплитудного преобразователя и амплитудного анализатора, результаты приведены на рис.8. Кривая 1 соответствует съему координатной информации с одного конца ЛЗ, при этом в качестве "старт"-сигнала использовался анодный сигнал. Кривая 2 получена при съеме информации с двух концов ЛЗ. Давление в камере при этих измерениях составляло 3,7 атм. Видно, что собственное пространственное разрешение детектора лучше 1,8 мм /полная ширина на полувысоте распределения/.

Для оценки контрастного отношения использовались бар-фантомы, облучаемые удаленным источником. Бар-фантом, представляющий собой набор равнотолщинных пластин из свинца и оргстекла, устанавливался на корпусе детектора и ориентировался параллельно проволокам одного из катодов. Информация с соответствующей ЛЗ через время-амплитудный конвертор поступала в амплитудный анализатор. На рис.9 приведена часть пространственного распределения интенсивности счета, полученная для бар-фантома с периодом T , равным 14 мм, облучаемого ^{241}Am . Соотношение $\left(\frac{A_1 - A_2}{A_1}\right)$ можно использовать для оценки контрастности изображения элементов различной величины. На рис.10 приведено контрастное отношение в зависимости от величины, обратной периоду бар-фантомов, полученное при использовании источников ^{241}Am и ^{109}Cd - кривая 1. При работе с источником ^{241}Am энергоделения в точках 1 и 2 /рис.1/ равны, что исключает возможность улучшения контрастного отношения с помощью дискриминации анодных сигналов. Амплитудный спектр анодных сигналов, полученный в случае использования ^{109}Cd , приведен на рис.11. Первый пик соответствует взаимодействиям флуоресцентного гамма-излучения, второй - определяется фотозлектронами от первичного

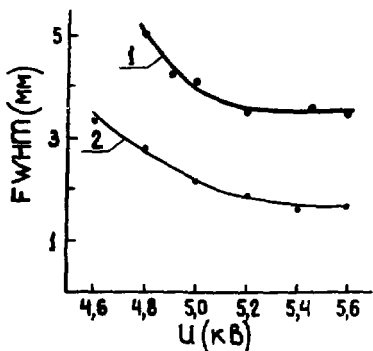


Рис.8. Пространственное разрешение детектора в зависимости от величины анодного напряжения. Кривые 1 и 2 отвечают съему координатной информации с одного и с двух концов ЛЗ соответственно. $P=3,75$ атм, $U_d=8$ кВ.

Рис.9. Пространственное распределение интенсивности счета по одной из координат детектора, полученное при помощи бар-фантома с $T=14$ мм.

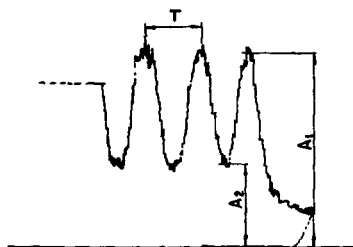
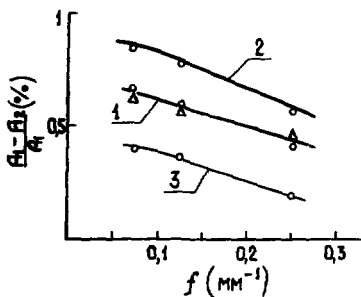


Рис.10. Зависимости, характеризующие контрастное отношение детектора. Кривая 1 - использовались гамма-источники ^{241}Am и ^{109}Cd , отбор событий не производился. Кривые 2 и 3 - источник ^{109}Cd , осуществлялся отбор событий.



гамма-кванта, третий пик отвечает случаям полного поглощения первичного излучения в рабочем объеме детектора. Кривая 1 на рис.10 характеризует контрастное отношение при работе с излучением от ^{109}Cd без амплитудного анализа анодных сигналов. Исключение определенной части событий, отвечающих первому пику энергетического распределения, примерно в 1,5 раза повышает контрастное отношение /кривая 2 на рис.10/. Наоборот, исключение части событий, отвечающих второму пику, приводит к резкому ухудшению контрастного отношения /кривая 3/.

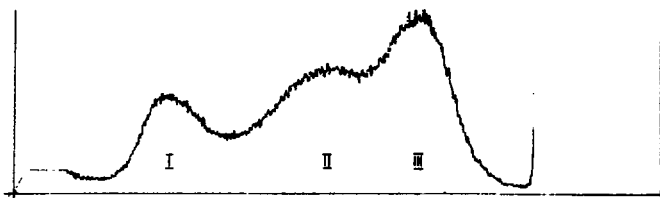


Рис. 11. Амплитудный спектр анодных сигналов от источника ^{109}Cd . Анодное напряжение соответствует плато счетной характеристики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований разработанного для регистрации гамма-излучения с энергией до 90 кэВ детектора можно сказать следующее:

- эффективность регистрации гамма-излучения, достигаемая с помощью этого детектора, составляет около 30%, мы надеемся увеличить ее примерно в $1,5 \pm 2$ раза;
- собственное пространственное разрешение детектора лучше 1,8 мм;
- для визуализации элементов размером ~ 2 мм контрастное отношение - около 45% без введения амплитудного анализа анодных сигналов; при введении отбора событий по результатам амплитудного анализа контрастное отношение улучшается в 1,5 раза;
- быстродействие детектора, определяемое параметрами ЛЗ, достигает $5 \cdot 10^5$ с;
- детектор имеет хорошую линейность по обеим координатам; неоднородность его по площади составляет $\pm 5\%$.

Таким образом, такой детектор можно использовать при создании достаточно дешевой гамма-камеры для целей медицинской гамма-интроскопии. Параметры такого прибора будут превосходить параметры стандартных сцинтилляционных гамма-камер.

Следует отметить также, что в случае заполнения детектора газовой смесью на основе ^3He он будет являться высокоэффективным позиционно-чувствительным детектором тепловых нейтронов.

В заключение авторы благодарят А.Б.Иванова и Ю.С.Анисимова за помощь в подготовке измерительной аппаратуры, Т.Нетушила за участие в создании системы газонаполнения детектора, а также Ю.Г.Федулова, Н.П.Волкова, М.Н.Михайлову за помощь в создании детектора и исследовании его характеристик. Мы благодарим также Л.Моучку за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zanevsky Yu.V. et al. *Nucl.Instr. and Meth.*, 1978, 153, p.445.
2. Anisimov Yu.S. et al. *J. of Chromatography*, 1979, 178, p.117.
3. Анисимов Ю.С. и др. ОИЯИ, 18-80-569, Дубна, 1980.
4. *Studies in Penetration of Charged Particles in Matter.* Chairman S.K.Allison. Publication 1133, Nat.Acad. of Sci., Washington, D.C., 1964, p.244.
5. Christophorou L.G. et al. *Nucl.Instr. and Meth.*, 1980, 171, p.491.