

УДК 539.1.074.23

ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГИИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПО ИОНИЗАЦИОННЫМ ПОТЕРЯМ В МНОГОСЛОЙНОМ ГАЗОВОМ ДЕТЕКТОРЕ

© 2020 г. С. И. Поташев¹, *, А. А. Афонин¹, Ю. М. Бурмистров¹, А. И. Драчев¹,
С. В. Зуев¹, С. Х. Караевский¹, А. А. Каспаров¹, Е. С. Конобеевский¹,
И. В. Мешков², В. Н. Пономарев¹, В. И. Разин¹, Г. В. Солодухов¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: potashev@inr.ru

Поступила в редакцию 30.10.2019 г.

После доработки 25.11.2019 г.

Принята к публикации 27.12.2019 г.

Разработан четырехслойный газовый детектор для определения интенсивности и энергии электронов и других заряженных частиц. Представлены результаты измерений с использованием разработанного детектора, показывающие возможность определения энергии заряженных частиц.

DOI: 10.31857/S0367676520040225

ВВЕДЕНИЕ

Многослойные детекторы заряженных частиц могут применяться для широкого круга задач в физике элементарных частиц и в прикладных исследованиях. Многократное измерение ионизационных потерь применяется для идентификации заряженных частиц в физике высоких энергий [1–3]. Этот метод позволяет также определять энергию заряженных частиц, например, электронов при энергиях в несколько МэВ. При этом с увеличением числа слоев n точность определения энергии улучшается пропорционально $n^{-0.46}(lP)^{-0.32}$ [3], где l — толщина слоя в см, P — давление в бар. При измерении граничной энергии в спектре энергии электронов может быть определен [4] вид неизвестного бета-активного источника.

Газовые детекторы частиц, обладая радиационной стойкостью, имеют преимущество перед полупроводниковыми детекторами. В то же время они имеют низкую чувствительность к гамма-квантам и рентгеновскому излучению и, таким образом, имеют преимущество перед сцинтилляционными детекторами. Тщательная герметизация детектора, использование не выделяющих пары материалов и наполнение дешевой, не вызывающей полимеризацию газовой смесью аргона и углекислого газа делает применение газового детектора приемлемым.

Цель настоящей работы — описать создание многослойного газового пропорционального детектора, способного решать различные задачи. Такой детектор позволяет измерять ионизационные потери заряженных частиц в последовательных газовых зазорах, которые отделены друг от друга катодами, выполняющими одновременно роль поглотителей, что позволяет проводить идентификацию заряженных частиц и определение их энергий.

КОНСТРУКЦИЯ ДЕТЕКТОРА

Схема четырехслойного газового детектора заряженных частиц представлена на рис. 1. Детектор состоит из герметичного корпуса 1, который имеет входное окно 2 из полиамида толщиной от 20 до 70 мкм в зависимости от требований эксперимента. Внутри корпуса расположена сборка из четырех последовательных пропорциональных камер с зазорами 0.8 см, заполненными газовой смесью $\text{Ar} + 20\% \text{CO}_2$ под давлением 1 атм. Первая камера содержит проволочный катод 3 из проволоки диаметром 50 мкм из покрытой золотом бериллиевой бронзы и сигнальный проволочный анод 4 из проволоки диаметром 20 мкм из покрытого золотом вольфрам-ренийевого сплава. Остальные камеры содержат такие же, как и 4, сигнальные проволочные аноды 6, 8, 10 и плоские катоды 5, 7, 9, 11 из алюминиевой фольги толщиной 70 мкм. Все катоды подключены к высоко-

вольтному питанию, а сигнальные аноды — к индивидуальным усилителям.

Заряженная частица, проходящая через тонкое окно, производит ионизацию в четырех последовательных газовых зазорах, разделенных поглотителями. Поглотители из 70 мкм алюминия для торможения частиц одновременно являются катодами системы из четырех последовательных пропорциональных камер.

Сигналы с проволочных анодов поступают на усилители УЛБ-8, в которых 8 каналов усиления образуют 4 канала по 2 ступени с коэффициентом усиления ~400. Далее регистрация сигналов проводится с помощью сигнального процессора DT5720 фирмы CAEN под управлением сигнала от первой камеры детектора.

Детектор перед экспериментом наполнялся газом Ag + 20% CO₂ и использовался без протекания через него газа. Напряжение питания детектора составляло 2.6–2.7 кВ. Чтобы подавить случайные совпадения, использовались временные ворота выделения полезных событий. Собственный шум детектора не превышал 2.6 соб. мин⁻¹.

ИЗМЕРЕНИЯ С БЕТА-ИСТОЧНИКОМ

Возможность измерения граничной энергии спектра нейтронов проверялась с использованием активного бета-источника ⁸⁹Sr. Спектры ионизационных потерь электронов из такого источника в последовательных зазорах четырех пропорциональных камер детектора представлены на рис. 2. Ядро ⁸⁹Sr распадается с образованием ядра ⁸⁹Y и испусканием электрона и антинейтрино со временем полураспада 55.6 дней. Спектр электронов источника имеет приблизительно параболическую форму. Граничная энергия спектра составляет 1.489 МэВ [4]. Ионизационные потери от электронов источника наблюдаются в спектрах тонких газовых слоев четырех зазоров детектора. Спектр ионизационных потерь становится шире с прохождением каждого последующего чувствительного зазора. Определив число зарегистрированных электронов в спектрах для четырех камер детектора, получим зависимость ослабления потока электронов от толщины прохождения *R* (рис. 3).

Экспериментальная функция скорости счета электронов *J*(*R*), представленная на рис. 3, приблизительно линейна на начальном участке при логарифмической шкале по *J* и линейной по *R*. Поэтому выбираем на этом линейном участке два значения *J*(*R*₁) и *J*(*R*₂) (за вычетом скорости счета

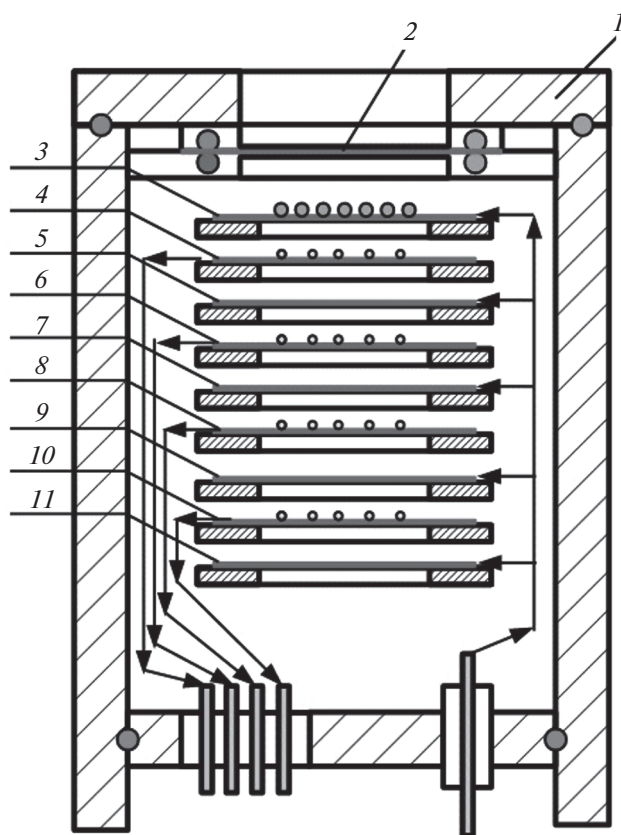


Рис. 1. Схема четырехслойного газового детектора: 1 – корпус; 2 – входное окно; 3 – проволочный катод; 4, 6, 8, 10 – проволочные аноды; 5, 7, 9, 11 – плоские катоды.

фона). Затем вычисляем коэффициент массового ослабления по формуле [4]:

$$\tau = \frac{\ln J(R_1) - \ln J(R_2)}{R_2 - R_1} = 8.63 \pm 0.25 \text{ см}^2 \cdot \text{г}^{-1}.$$

В качестве значений *R*₁ и *R*₂ берем значения *R* для двух первых экспериментальных точек на линейном участке. Затем находим толщину слоя половинного ослабления:

$$R_{1/2} = \ln 2 / \tau = 0.080 \pm 0.002 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}.$$

Граничную энергию спектра электронов находим по эмпирической формуле:

$$E_{\text{макс}} = \left(\frac{R_{1/2} A}{0.095 Z} \right)^{2/3} = 1.456 \pm 0.028 \text{ МэВ},$$

где *A* и *Z* – атомный вес и атомный номер. Табличное значение этой величины для ⁸⁹Sr составляет 1.489 МэВ [4], что хорошо согласуется с полученным значением. Для радиоактивных источников в диапазоне *E*_{макс} от 0.3 до 3 МэВ ошибка определяется в основном точностью эмпирических формул, которая составляет 7%.

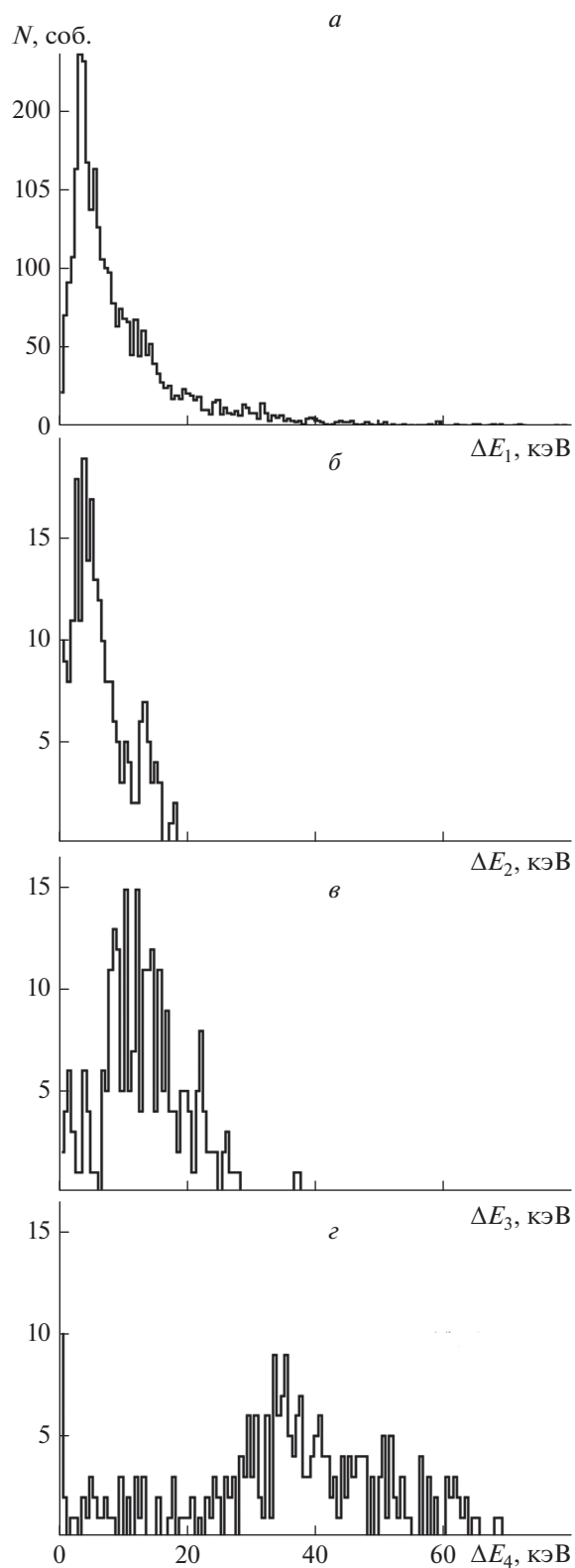


Рис. 2. Спектры ионизационных потерь электронов из источника ^{89}Sr в последовательных зазорах первой (*a*), второй (*б*), третьей (*в*) и четвертой (*г*) камер детектора.

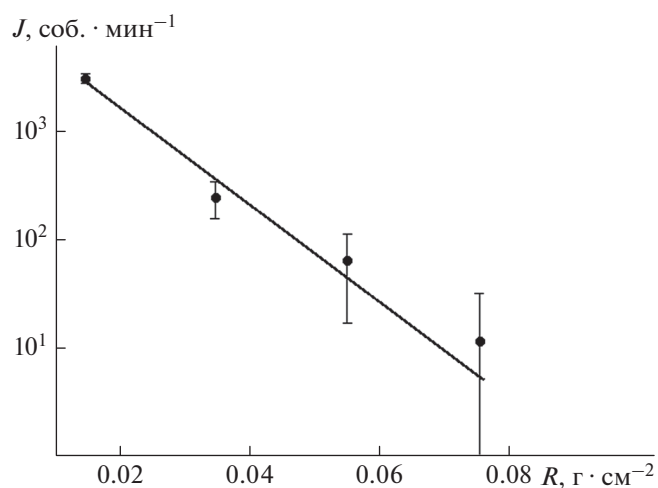


Рис. 3. Кривая ослабления потока электронов.

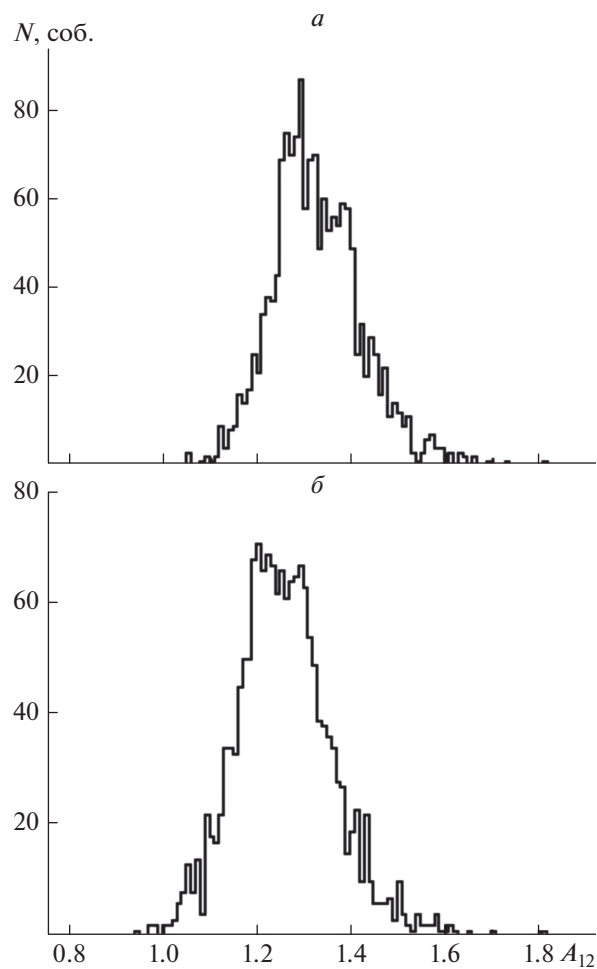


Рис. 4. Спектры отношения амплитуд сигналов от 1-ого и 2-го зазора $A_{12} = A_1/A_2$ для энергии электронов 7 МэВ: *a* – без поглотителя; *б* – с поглотителем из алюминия толщиной 5 мм.

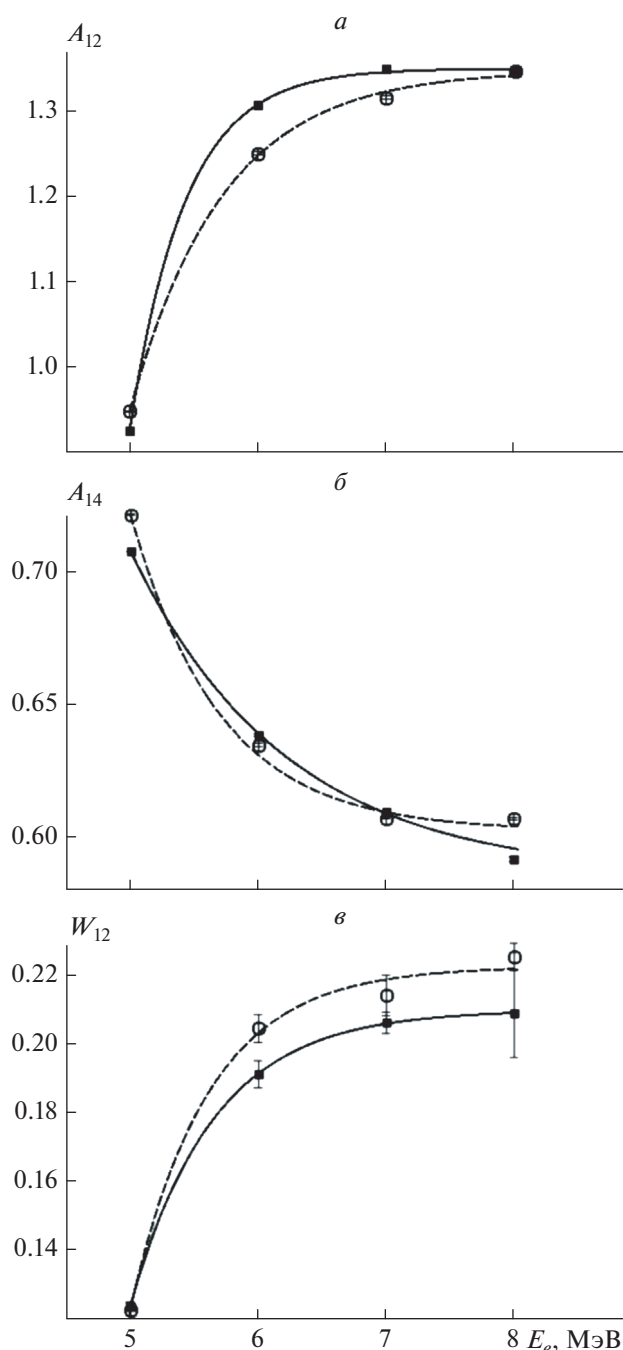


Рис. 5. Зависимости от энергии пучка электронов E_e отношений амплитуд сигналов A_{12} (а), A_{14} (б) и ширины W_{12} (в) на половине высоты распределения A_{12} . Черными квадратами и сплошной линией обозначены данные и аппроксимация, полученные без поглотителя. Отрытыми кружками и пунктирной линией – с поглотителем.

ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ УСКОРИТЕЛЯ

Данный детектор может быть также использован для измерения средней энергии электронов в

сгустке пучка ускорителя. В этом случае оказывается невозможным измерить ионизационные потери отдельного электрона в сгустке, но измеряются потери в нескольких газовых зазорах, усредненные за сброс пучка ускорителя.

В процессе измерений детектор размещался в пучке электронов ускорителя ЛУЭ-8-5 при токе ~ 30 нА. Измеренные амплитуды сигналов зависели от интенсивности пучка, но их отношение зависит только от энергии. На рис. 4 представлены спектры отношения $A_{12} = A_1/A_2$ для энергии электронов 7 МэВ, где A_1 – амплитуда сигнала, измеренного в 1-ом зазоре детектора, A_2 – амплитуда сигнала, полученного во 2-ом зазоре. На рис. 4б представлен спектр, полученный с поглотителем из алюминия толщиной 5 мм перед детектором, на рис. 4а – без поглотителя.

Поглотитель перед детектором устанавливался для того, чтобы увеличить разницу в величинах отношений A_{12} , A_{13} и A_{14} для разных зазоров. При этом средняя энергия проникающих через поглотитель электронов уменьшалась, ионизационные потери увеличивались и чувствительность функций $A_{12}(E_e)$ и $A_{14}(E_e)$ также увеличивалась, как показано на рис. 5а и 5б.

В то же время, другим параметром, зависящим от средней энергии электронов в сгустке, была ширина W_{12} на половине высоты распределения A_{12} (рис. 5в). Используя зависимости функций A_{12} , A_{14} и W_{12} от энергии на различных энергетических интервалах, можно контролировать энергию пучка электронов.

ВЫВОДЫ

Представлен многослойный газовый пропорциональный детектор, позволяющий измерять ионизационные потери заряженных частиц в последовательных газовых зазорах, которые отделены друг от друга катодами, выполняющими одновременно роль поглотителей. На примере измерения граничной энергии активного бета-источника ^{89}Sr и энергии электронов линейного ускорителя электронов показана работоспособность такого детектора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Citar B., Merson G.I., Chechin V.A., Budagov Yu.A. In the book: Springer tracts in modern physics. V. 124. Ch. 3. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1993. P. 106.
2. Jeanne D., Lazeyras P., Lehraus I. et al. // Nucl. Instr. Meth. 1973. V. 111. № 2. P. 287.
3. Allison W.W.M., Cobb J.H. // Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 1980. V. 30. P. 253.
4. Бабенко А.Г., Бруданин В.Б., Вахтель А.В. и др. Бета-распад. Определение максимальной энергии бета-спектра. Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2008. 48 с.