

12

Аргоновый пропорциональный счетчик для рентгеновской спектроскопии с дозированным содержанием ксенона

© А.Х. Хоконов, М.Б. Масаев, З.А. Суншев, Л.А. Хамукова

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Нальчик, Россия
E-mail: azkh@mail.ru

Поступило в Редакцию 15 ноября 2007 г.

Изучены спектрометрические возможности аргонового пропорционального счетчика с двухпроцентной молярной ксеноновой добавкой в рентгеновском диапазоне. Энергетическое разрешение проверялось как путем регистрации рентгеновской флуоресценции, так и с помощью радионуклида ^{241}Am . Двухпроцентная ксеноновая добавка позволила снизить рабочее напряжение с 1500 до 800 В, улучшить разрешение счетчика, увеличить эффективность регистрации фотонов с энергией, превышающей K -край поглощения ксенона более чем в два раза.

PACS: 32.30.Rj, 32.50+d

Пропорциональные счетчики находят широкое применение в различных областях физики для α -, β -, рентгеновской и γ -спектроскопии и для регистрации нейтронов [1,2]. Нами исследованы спектрометрические возможности аргонового пропорционального счетчика с дозированной ксеноновой добавкой. Детектор является модификацией счетчика СРПО-309 [3]. Конструктивно счетчик представляет собой прямоугольный параллелепипед из нержавеющей стали размерами $6.5 \times 6.5 \times 38$ см с рабочим объемом газа ~ 1.6 л. Одна из боковых стенок счетчика является окном из алюминиевой фольги толщиной $100 \mu\text{m}$. В качестве анода использована нихромовая нить диаметром $50 \mu\text{m}$, натянутая вдоль оси счетчика. Катодом служит корпус счетчика. В один из торцов детектора герметично впаян специальный разъем, позволяющий через вакуумную установку заполнять счетчик смесью газов с заданным парциальным давлением. Со второго торца на нить подается высокое напряжение и снимается полезный сигнал. Схема СРПО приведена на рис. 1.

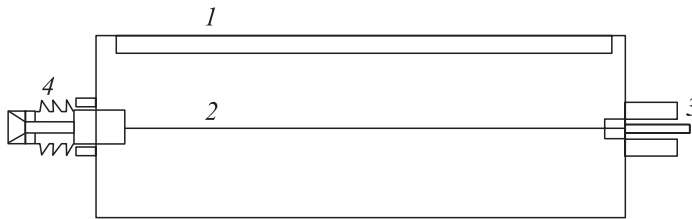
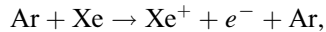


Рис. 1. Пропорциональный счетчик. Схема СРПО: 1 — алюминиевое окно, 2 — нихромовая анодная нить, 3 — высоковольтный разъем, 4 — вентиль с сильфоном для заполнения счетчика газом.

Присутствие в аргоне малой добавки, а именно — двухпроцентной молярной фракции ксенона позволяет существенно снизить значение рабочего напряжения на анодной нити с сохранением коэффициента газового усиления, что уменьшает вероятность пробоя. Энергия возбуждения метастабильных уровней аргона превышает потенциал ионизации молекул ксенона, вследствие чего при столкновениях появляется свободный электрон в соответствии со схемой:



что ведет к развитию лавинной ионизации при меньших рабочих напряжениях — эффект Пеннинга. Одновременно ксенон выполняет роль гасящей добавки. В счетчике с рабочим давлением аргона $P = 83060 \text{ Pa}$ эффект Пеннинга проявляется начиная с 0.5 mol.% содержания ксенона. Дальнейшее повышение содержания ксенона до 2 mol.% позволило уменьшить рабочее напряжение с 1500 до 800 V, при этом заметно улучшились спектрометрические характеристики детектора.

Результат расчета эффективности регистрации фотонов без учета поглощения в окне приведен на рис. 2. Эффективность регистрации рентгеновских фотонов рабочей смесью определяется вероятностью поглощения параллельного потока фотонов:

$$P(\omega) = 1 - \exp[-Ln_1(\sigma_1(\omega) + k\sigma_2(\omega))],$$

где $\sigma_1(\omega)$ и $\sigma_2(\omega)$ — полные сечения поглощения фотонов с частотой ω для Ar и Xe [4], $k = n_2/n_1$ определяется отношением парциальных давлений, n_1 и n_2 — число атомов Ar и Xe в единице объема,

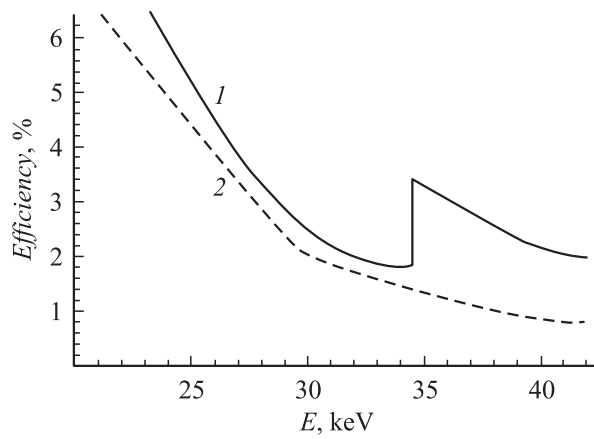


Рис. 2. Эффективность аргонного пропорционального счетчика: 1 — с ксеноновой пеннинговой добавкой, 2 — чистый аргон.

L — длина рабочей области. Характерные значения эффективности пропорционального счетчика сведены в таблице.

Области вблизи K -края поглощения ксенона $E_k = 34.6$ keV соответствуют два значения эффективности до и после K -края поглощения. Как видно из таблицы, при энергиях фотонов меньше E_k эффективности регистрации счетчика с ксеноновой добавкой и без нее отличаются незначительно, тогда как при энергиях фотонов, превышающих E_k ,

Эффективность регистрации пропорционального счетчика

Энергия, keV	Эффективность, %	
	Ar	Ar+Xe
10	43	49
15	16	18.6
20	7	8.4
30	2	2.5
34.56	1.4	1.7
		3.3
40	0.8	2
50	0.4	1

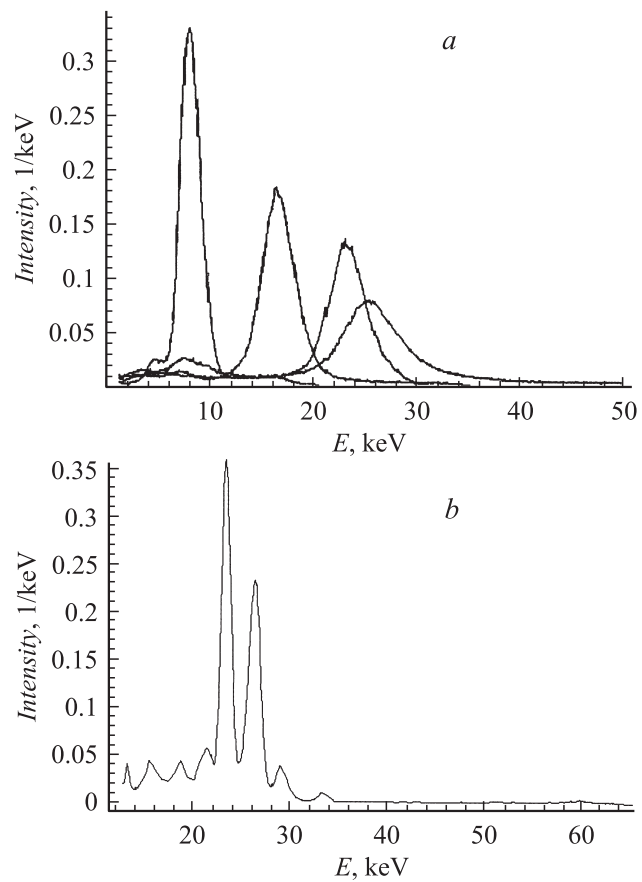


Рис. 3. *a* — спектры характеристического рентгеновского излучения для K_{α_1} линий меди (8.05 keV), молибдена (17.48 keV), кадмия (23.17 keV) и олова (25.27 keV); *b* — энергетический спектр рентгеновских фотонов с энергией 26.3 keV радионуклида ^{241}Am .

двухпроцентная ксеноновая добавка приводит к более чем двукратному росту эффективности.

Спектрометрические характеристики счетчика определялись методом регистрации флуоресценции образцов меди (8.05 keV), молибдена

(17.48 keV), кадмия (23.17 keV) и олова (25.27 keV), возбуждаемых тормозным излучением рентгеновской трубки. Полученные спектры представлены на рис. 3, *a*.

Энергетическое разрешение составило 9% для 8.05 keV ($K_{\alpha 1}$ меди). С ростом энергии фотонов вследствие уменьшения эффективности регистрации (рис. 2) результирующее разрешение ухудшилось до 15% у молибдена и до 20% у кадмия. Существенным недостатком данного подхода является то, что слияние K_{α} и K_{β} линий не позволяет точно установить энергетическое разрешение. С учетом этого нами был проведен эксперимент с использованием монохроматического источника — радионуклида ^{241}Am , дающего хорошо разрешаемую линию 26.3 keV, соответствующую ядерному переходу возбужденного ядра ^{237}Np , образующегося при α -распаде америция. Регистрируемый в этом случае пропорциональным счетчиком спектр, приведенный на рисунке 3, *b*, содержит наряду с пиком полного поглощения интенсивный максимум с энергией 23.4 keV. Происхождение этого максимума обусловлено вылетом из рабочего объема характеристического рентгеновского фотона с энергией $E_{K\alpha} = 2.9$ keV, возникающего при фотоионизации K -оболочки аргона. Ширины пика вылета и пика полного поглощения соответствуют энергетическому разрешению счетчика 11%, что примерно в 1.5 раза превышает разрешение счетчика без пеннинговой добавки. Таким образом, ксеноновая пеннинговая добавка приводит к заметному улучшению разрешения счетчика.

Авторы приносят благодарность В.В. Кузьминову за оказанное существенное содействие в проведении экспериментов и полезное обсуждение.

Список литературы

- [1] *Грунен К.* Детекторы элементарных частиц: Справочник / Пер. с англ. Новосибирск: Сибирский хронограф, 1999. 407 с.
- [2] *Мальшев Е.К., Засадыч Ю.Б., Стабровский С.А.* Газоразрядные детекторы для контроля ядерных реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1991. 160 с.
- [3] *Лосев Н.Ф., Смагунова А.Н.* Основы рентгено-спектрального флуоресцентного анализа. М.: Химия, 1982. 206 с.
- [4] *Сторм Э., Исраэль Х.* Сечение взаимодействия гамма-излучения: Справочник. М.: Атомиздат, 1973. 252 с.