

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗ44.16

29/1-79

Д-606

P13 - 11869

384/2-79

В.Х.Додохов, В.А.Жуков, А.Б.Лазарев,
А.А.Ноздрин, В.А.Столупин, В.И.Травкин

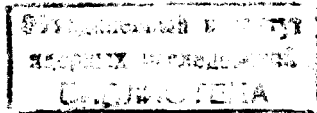
ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ СЧЕТЧИКОВ
ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ

1978

P13 - 11869

В.Х.Додохов,* В.А.Жуков, А.Б.Лазарев,
А.А.Ноздрин, В.А.Столупин, В.И.Травкин

ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ СЧЕТЧИКОВ
ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ



* Институт ядерных исследований АН СССР, Москва.

Характеристики пропорциональных счетчиков при высоких давлениях

Исследованы характеристики пропорционального счетчика, предназначенного для абсолютных измерений активности изотопов, при давлениях рабочего газа от 5 до 100 атм. Рабочее вещество - чистый аргон, а также смесь аргона с ксеноном и метаном. Диаметр катода счетчиков - 6, 10 и 14 мм, анода - 10, 16 и 20 мкм. Найдено, что добавление 0,5% ксенона к чистому аргону приводит к значительному (примерно в 2 раза) понижению рабочего напряжения счетчика по сравнению с чистым аргонem (и тем более смеси аргона с метаном), при этом увеличивается максимальный коэффициент газового усиления. Энергетическое разрешение счетчика - $5,5 \pm 7\%$ (FWHM) для линии 59,57 кэВ от γ -источника ^{241}Am при давлениях 8-100 атм. Как показывают результаты, для стабилизации работы счетчика при больших давлениях аргона целесообразнее использовать добавки ксенона, а не метана.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Performance of High Pressure Gas Proportional Counters

The performance of gas proportional counters intended to some isotopes absolute activity measurements are investigated at a gas pressure ranging from 5 to 100 atm. The counter working matter (filling gas) is pure argon and the $\text{CH}_4/\text{Ar}, \text{Xe}/\text{Ar}, \text{CH}_4/\text{Xe}/\text{Ar}$ gas mixtures. The counter had cathode diameters 6, 10, 14 mm and anode diameters were 10, 16, 20 mkm. It is found that an addition of 0.5% Xe to argon results in a considerable decrease (approximately by a factor of 2) of working voltage applied to counters, compared to pure argon filling, just as maximum gas amplification factor is increased. The counter energy resolution is $5.5 \pm 7\%$ (FWHM) for ^{241}Am γ -quanta with the 59.57 keV energy at Ar+0.5%Xe mixture pressure is ranging from 8 to 100 atm. It is shown that it is more efficiently to use argon with addition of xenon, but no methane for stable working of high pressure gas counters.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

В ядерной физике счетчики высокого давления разрабатывались в основном для абсолютных измерений активности изотопов, распадающихся через К-захват^{1,2/}, для измерений интенсивности радиационных переходов различных изотопов^{3,4/}, измерения спектров β -частиц и атомных электронов, связанных с процессами конверсии^{5/}. Радиоактивный источник вводится в объем счетчика либо в виде газообразной добавки к наполняющему газу /газовые источники, металлоорганические соединения/, либо в твердом виде / 4π -геометрия, многонитяные счетчики с β - γ -совпадениями/. Преимущество высокого давления здесь состоит в том, что вылет рентгеновских гамма-квантов из объема счетчика может быть сделан очень малым. При регистрации электронов /оже-электронов, электронов внутренней конверсии/ с энергией до нескольких сотен кэВ при достаточно высоком давлении эффективность регистрации близка к единице, и в чувствительном объеме счетчика поглощается полная энергия частицы, что позволяет использовать счетчик как спектрометр.

Высокое давление может оказаться полезным при регистрации изотопов с малой активностью в миниатюрных пропорциональных счетчиках, например при регистрации распадов атомов ^{71}Ge , возникающих при взаимодействии солнечных нейтрино в реакции $^{71}\text{Ga} + \nu \rightarrow ^{71}\text{Ge} + e^-$ ^{6/}. Как известно, в опытах по регистрации солнечных нейтрино миниатюризация счетчиков имеет первостепенное значение, так как фон счетчика непосредственно связан с его размерами. В то же время половина распадов ^{71}Ge происходит с выделением энергии

в виде К-оже-электронов и половина - через характеристическое излучение. Кроме того, большая энергия связи К-электронов в $^{71}\text{Ge}/10,37 \text{ кэВ}/$ приводит к тому, что их пробег в счетчике при обычном давлении будет $\sim 2,5 \text{ мм}$. Таким образом, регистрация этих электронов в счетчике с диаметром меньше 5 мм при обычном давлении будет заметно ухудшать энергетическое разрешение К-линии и не позволит эффективно использовать дискриминацию по форме импульса для устранения фона μ -мезонов высоких энергий. В значительной степени эти затруднения устраняются путем использования в счетчике высокого давления. При соответствующем давлении можно сделать эффективность регистрации рентгеновского К-излучения в счетчиках с диаметром в несколько мм близкой к единице, при этом пробег электронов составит несколько микрон.

Для заполнения счетчиков, работающих при высоком давлении, обычно используются смеси аргона с различными многоатомными добавками /метан, пропан и др./. Мы исследовали работу пропорциональных счетчиков с разными диаметрами катода /6, 10, 14 $\text{мм}/$ и анода /10, 16, 20 $\text{мм}/$, которые заполнялись чистыми инертными газами - аргоном и ксеноном, смесями аргона с метаном, аргона с ксеноном при различных концентрациях примесного газа. Исследовалось также влияние многоатомной примеси на характеристики счетчика, заполненного смесью аргона с ксеноном. Исследования свойств счетчиков включали изучение зависимости амплитуды выходного сигнала и энергетического разрешения от приложенного к счетчику напряжения в широком диапазоне изменения давления рабочего газа /5-100 $\text{атм}/$.

Как показывают полученные ранее результаты ^{/7/}, счетчики, заполненные чистым аргоном, сохраняют свою работоспособность до давлений 100 атм . При этом, однако, с ростом давления от 5 до 100 атм максимальный коэффициент размножения уменьшается от $\sim 10^3$ до $\sim 10^2$, а энергетическое разрешение ухудшается от 5 до 17% для гамма-квантов от ^{241}Am с энергией 59,57 кэВ . Характеристики счетчика меняются через некоторый промежуток времени, и для повторения результатов необ-

ходимо тщательное воспроизведение рабочих условий. Добавление 10% метана приводит к значительному возрастанию рабочего напряжения счетчика, но работа счетчика становится более стабильной, и высокий коэффициент размножения $\sim 10^4$ сохраняется до давлений 100 атм .

Интерес представляют смеси инертных газов, из которых хорошо известна смесь неона с аргоном. Как известно, в этой смеси имеет место "эффект Пеннинга", который приводит к увеличению первого коэффициента Таунсенда за счет процесса:



где атом Ne^* находится в метастабильном состоянии, потенциал которого выше потенциала ионизации атома аргона. В исследуемой смеси аргона с ксеноном энергетически невозможен метастабильный эффект Пеннинга, однако Куботой ⁸ было обнаружено, что при прохождении альфа-частицы в смеси аргона с ксеноном наблюдается увеличенная /примерно на 20%/, по сравнению с чистым аргоном, ионизация. При низких /до одной атмосферы/ давлениях, обычно используемых в пропорциональных счетчиках, добавление ксенона в концентрации, достигающей нескольких десятков процентов, к смеси $\text{Ar} + \text{CH}_4$ и $\text{Ar} + \text{CO}_2$ приводит к росту амплитуды выходного сигнала от пропорционального счетчика примерно в 5 раз /для 10% $\text{Xe}/$ ^{9/}, а также к некоторому улучшению энергетического разрешения счетчика /до 12% для ^{55}Fe в смеси 80% $\text{Ar} + 20\% \text{Xe}/$ ^{10/}. Как было предположено Куботой, этот эффект обусловлен так называемым "неметастабильным эффектом Пеннинга":



- процессом, аналогичным /1/, где, однако, атом основного газа находится в неметастабильном, резонансном состоянии, потенциал которого выше потенциала ионизации атома примеси. Сильное резонансное поглощение фотонов в собственном газе приводит к тому, что при большой плотности рабочей среды, в результате многократного

поглощения и испускания резонансных гамма-квантов, время существования возбужденных состояний в объеме счетчика будет определяться диффузией гамма-квантов к стенкам счетчика - процессом, длительность которого, по некоторым оценкам^{11,12}, может достигать $\sim 10^{-4}$ с.

Мы исследовали работу пропорциональных счетчиков, заполненных смесью аргона и ксенона в различной пропорции при давлениях, достигающих 100 атм. Было обнаружено, что добавление незначительного количества ксенона приводит к стабильной работе счетчика в течение длительного времени и существенно улучшает некоторые его характеристики. На рис. 1 представлены амплитудные характеристики счетчика, заполненного чис-

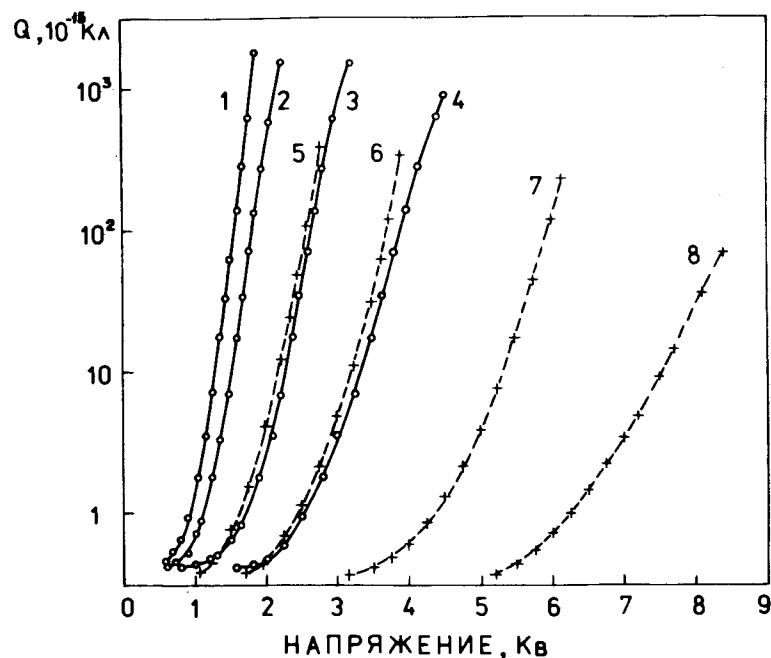


Рис. 1. Зависимости амплитуды импульса Q от приложенного напряжения для счетчика с диаметром катода 6 мм, анода 20 мкм, заполненного чистым аргоном и смесью $Ar + 0,5\% Xe$. 1 - 4 - смесь $Ar + 0,5\% Xe$, давление 10, 20, 50, 100 атм, соответственно, 5-8 - чистый аргон, давление 10, 20, 50, 100 атм.

тым аргоном и смесью $Ar + 0,5\% Xe$. Как видно из этого рисунка, добавление ксенона приводит к значительному сдвигу амплитудных кривых в область меньших, по сравнению с чистым аргоном / и тем более смесью аргона с метаном/, рабочих напряжений, причем наряду с этим увеличивается максимальный коэффициент газового усиления. Влияние концентрации ксенона в смеси на работу счетчика видно из рис. 2, на котором представлена зависимость напряженности электрического поля вблизи анода счетчика $E_a = U / (r_a \cdot \ln(r_k / r_a))$ / U - приложенное к счетчику напряжение, r_k - радиус катода, r_a -

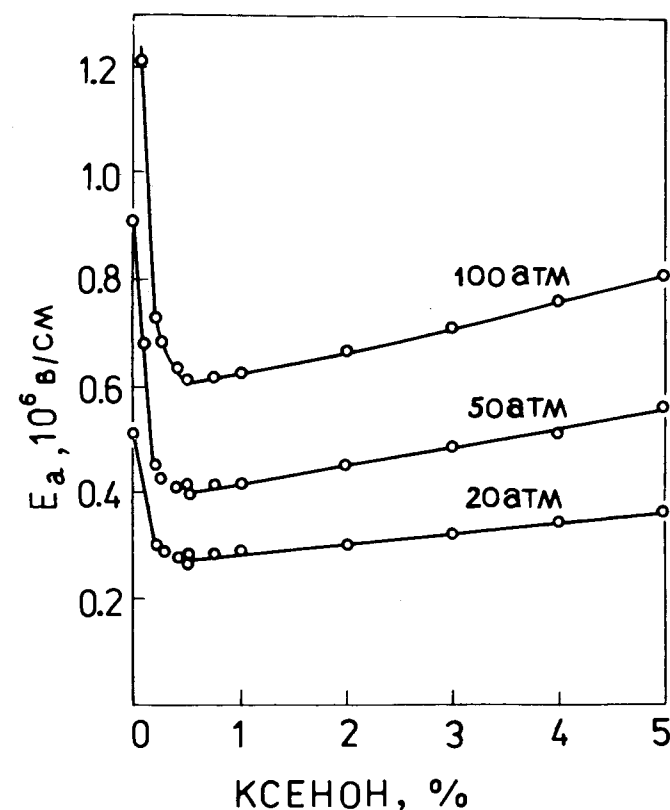


Рис. 2. Зависимость напряженности электрического поля вблизи анода E_a от концентрации ксенона при постоянной величине выходного сигнала $\sim 35,6 \cdot 10^{-15}$ Кл.

радиус анода счетчика/ от концентрации ксенона при постоянной величине выходного сигнала, который составлял $\sim 35,6 \cdot 10^{-15}$ Кл, что соответствует коэффициенту усиления, примерно равному 100.

При высоких давлениях добавление ксенона к аргону существенно улучшает энергетическое разрешение счетчиков. На рис. 3 показаны в сравнении спектры импульсов от гамма-квантов ^{241}Am / $E_\gamma = 59,57$ кэВ/ и спектры

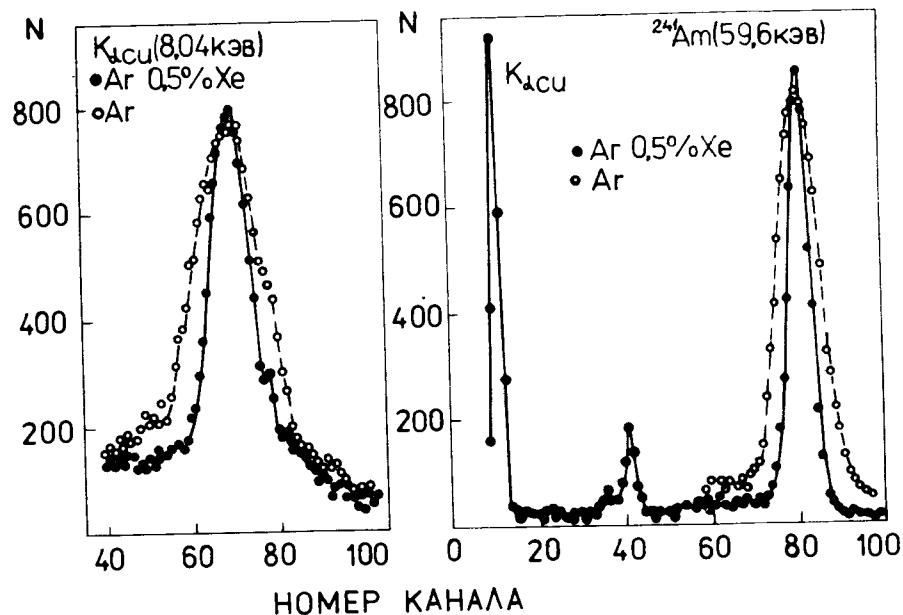


Рис. 3. Спектры импульсов при давлении 50 атм: - от рентгеновских гамма-квантов K-линии меди для аргона / $\sim 27\%$ FWHM / и смеси Ar + 0,5% Xe / $\sim 13,6\%$ FWHM /, левый рисунок; - от гамма-квантов ^{241}Am для аргона / $\sim 12\%$ FWHM / и смеси Ar + 0,5% Xe / $\sim 6,2\%$ FWHM /, правый рисунок.

рентгеновских гамма-квантов K-линии меди с энергией ~ 8 кэВ для смеси Ar + 0,5% Xe и для чистого аргона при давлении 50 атм. При этом разрешение значительно в меньшей степени, чем это наблюдалось для чистого

аргона и смеси аргона с метаном^{6/}, зависит от давления, меняясь в пределах $5,5 \div 7\%$ (FWHM) для линии 59,57 кэВ при изменении давления от 8 до 100 атм.

Добавление к смеси аргона с ксеноном многоатомного газа, такого как метан, будет приводить к процессам, конкурирующим с /2/. Значительная часть возбужденных атомов аргона будет терять свою энергию в неупругих столкновениях с многоатомными молекулами примеси без дополнительной ионизации. Используя метан как добавку к смеси Ar + 0,5% Xe, при определенном напряжении мы наблюдали уменьшение амплитуды выходного сигнала и ухудшение энергетического разрешения счетчика, тем большее, чем выше была концентрация метана в смеси. Было найдено, что для смеси Ar + 0,5% Xe + 10% CH₄ разрешение было таким же, как и для смеси Ar + 10% CH₄. С уменьшением доли метана разрешение улучшается и для Ar + 0,5% Xe + 1% CH₄ соответствует разрешению счетчика, заполненного смесью Ar + 0,5% Xe.

Таким образом, как показывают полученные результаты, при больших плотностях для стабилизации работы счетчика целесообразным оказывается использование ксенона в качестве примеси к аргону. По сравнению с многоатомными газами, такими как метан, добавление к аргону незначительного количества ксенона существенно снижает рабочее напряжение и улучшает энергетическое разрешение счетчика, причем сохраняется довольно высокий максимальный коэффициент размножения электронов во всем исследованном диапазоне плотности рабочего газа.

В заключение авторы благодарят Б.М.Понтекорво и А.А.Поманского за постановку задачи, интерес к работе и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Legrand J. e.a. Nucl.Instr. and Meth., 1973, 112, p.101.
2. Baerg A.P. Nucl.Instr. and Meth., 1973, 112, p.95.

3. *Bambynek W. EURATOM Report, EUR 2632 d, 1965.*
4. *Taylor J.G.V., Merritt J.S. In: Role of Atomic Electrons in Nucle. Transformations. Warsaw, Poland, 1963, p.465; Freund H. e.a. Nucl.Phys., 1969, A138, p.200.*
5. *Kitahara T. e.a. Nucl.Instr. and Meth., 1977, 140, p.263.*
6. *Поманский А.А. Препринт ФИАН, № А-106, 1965. Кузьмин В.А. Препринт ФИАН № А-62, 1964.*
7. *Гребинник В.Г. и др. ОИЯИ, Р13-10552, Дубна, 1977.*
8. *Kubota S.J. Phys.Soc.Jap., 1970, 29, p.1017.*
9. *Fuzesy R. e.a. Nucl. Instr. and Meth., 1972, 100, p.267; Wolf R. Nucl.Instr. and Meth., 1974, 115, p.461.*
10. *Sipila H. Nucl. Instr. and Meth., 1977, 140, p.389.*
11. *Holstein T. Phys.Rev., 1947, 72, p.1212; Phys. Rev., 1951, 83, p.1159.*
12. *Colli L., Facchini G. Phys. Rev., 1952, 88, p.987.*

Рукопись поступила в издательский отдел
5 сентября 1978 года.