

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



Г-79

25 / III - 77.

P13 - 10552

2805 / 2-77

В.Г.Гребинник, В.Х.Додохов, В.А.Жуков,  
А.Б.Лазарев, А.А.Ноздрин, А.Ф.Писарев,  
В.А.Столупин, В.И.Травкин

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ  
ГАЗОВЫХ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ СЧЕТЧИКОВ  
ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 100 АТМОСФЕР

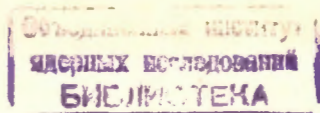
**1977**

P13 - 10552

В.Г.Гребинник, В.Х.Додохов, В.А.Жуков,  
А.Б.Лазарев, А.А.Ноздрин, А.Ф.Писарев,  
В.А.Столупин, В.И.Травкин

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ  
ГАЗОВЫХ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ СЧЕТЧИКОВ  
ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 100 АТМОСФЕР

*Направлено в ПТЭ*



Исследование работы газовых пропорциональных счетчиков при давлениях до 100 атмосфер

Приводятся результаты исследования газового усиления и энергетического разрешения цилиндрических пропорциональных счетчиков диаметром 6 и 14 мм, заполненных аргоном и смесью из 90% аргона и 10% метана, при давлениях до 100 атм. В качестве анода использовались позолоченная вольфрамовая проволока диаметром 19,4; 16,4; 20,8 мкм, а также проволока, покрытая тонким слоем стекла.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Grebinnik V.G. et al.

P13 - 10552

Investigation of the Gas Proportional Counters Operating at a Pressure of 100 atm

The results are presented of the investigation of the gas multiplication and energy resolution for cylindrical proportional counters 6 and 14 mm in diameter filled with argon and a mixture of 90% argon and 10% methane at a pressure up to 100 atm. A gold-plated tungsten wires 19.4, 16.4, and 20.8  $\mu$ m in diameter as well as a wire covered with a thin layer of glass were used as anode.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

Многочисленные попытки <sup>/1,2,4/</sup> получить пропорциональный режим размножения электронов в счетчиках, заполненных жидким или кристаллическим аргоном, не привели к желаемым результатам. В связи с этим представляет определенный практический интерес изучение возможности получения в счетчике более плотной рабочей среды при сильном повышении давления с сохранением при этом пропорционального режима, характерного для счетчиков с газовым наполнением. Имеющиеся отдельные исследования в этом направлении <sup>/3,4/</sup> показывают, что пропорциональное размножение электронов в счетчике, заполненном газовой смесью, наблюдается вплоть до давления 100 атм. Однако в этих работах отсутствуют сведения о подробном исследовании одной из важнейших характеристик счетчика - его энергетическом разрешении. Поэтому целью настоящей работы явилось систематическое изучение в единых экспериментальных условиях счетных, амплитудных и энергетических характеристик счетчика с плотной газовой средой. Вместе с тем, в данную программу исследований был включен также опыт по изучению характеристик газового счетчика, анод в котором был выполнен из проводящей нити, покрытой тонким слоем из высокоомного материала. Предполагалось, что такое покрытие будет стабилизировать режим размножения электронов вблизи нити при высоком давлении газа.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АППАРАТУРА

В работе использовались два цилиндрических счетчика, конструкция которых приведена на рис. 1. Каждый счетчик имел латунный катод с внутренним диаметром и длиной для одного счетчика 6 и 60 мм и для другого - 14 и 80 мм, соответственно. В качестве анода использовались золоченые вольфрамовые нити диаметром 10,4;

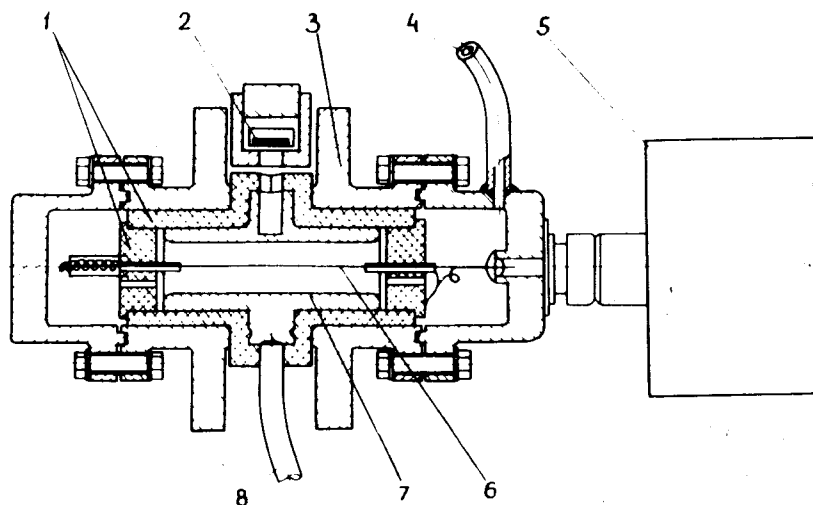


Рис. 1. Конструкция пропорционального счетчика. 1 - фторопластовый изолятор; 2 - источник гамма-квантов, 3 - корпус высокого давления, 4 - ввод газа, 5 - предусилитель, 6 - анод; 7 - катод, 8 - подвод высокого напряжения.

16,4; 20,8 мкм, а также тонкая проволока, покрытая слоем диэлектрического материала /стекла/. Анодная нить проходила по центру счетчика через стеклянные капилляры и с одного конца удерживалась упругой пружиной, которая предотвращала ее провисание.

В разных опытах счетчики заполнялись аргоном "особой" чистоты с содержанием примесей: кислорода

$< 0,0005\%$ , паров воды  $< 0,005$  г/м<sup>3</sup>, азота  $< 0,002\%$ , а также смесь из 90% аргона и 10% метана.

Гамма-кванты от внешнего источника  $^{241}\text{Am}$  / $E_\gamma = 59,6$  кэВ/ попадали в объем счетчика через окно в катоде, причем толщина латунной стенки в месте облучения составляла ~ 0,5 мм.

Полученный со счетчика импульс поступал на зарядо-чувствительный предусилитель, затем через спектральный тракт /2/-на амплитудный анализатор марки АИ-128. Амплитудная калибровка электронного тракта производилась через дозирующую электрическую емкость предусилителя. Энергетический эквивалент шумов по аргону при суммарной входной емкости ~ 15 пФ составлял около 40 кэВ /полная ширина на полувысоте/.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследования свойств счетчиков включали в себя изучение зависимости коэффициента газового усиления /КГУ/ и энергетического разрешения от приложенного напряжения в широком интервале изменения давления /5÷100 атм./ рабочей смеси.

### Работа счетчика с нитью без диэлектрического покрытия

Для каждого счетчика с разными диаметрами анода были получены амплитудные распределения и зависимости величины выходного сигнала от приложенного напряжения. В качестве конкретного примера на рис. 2 приводятся амплитудные характеристики для счетчика с катодом 6 мм и анодом диаметром 16,4 мкм при различных давлениях аргона и смеси аргона с метаном. Счетчик, заполненный только аргоном, работал устойчиво вплоть до давлений 100 атм. Однако, как видно из рис. 2, с ростом давления максимальный коэффициент размножения электронов уменьшается /верхняя точка каждой кривой соответствует началу коронного разряда/.

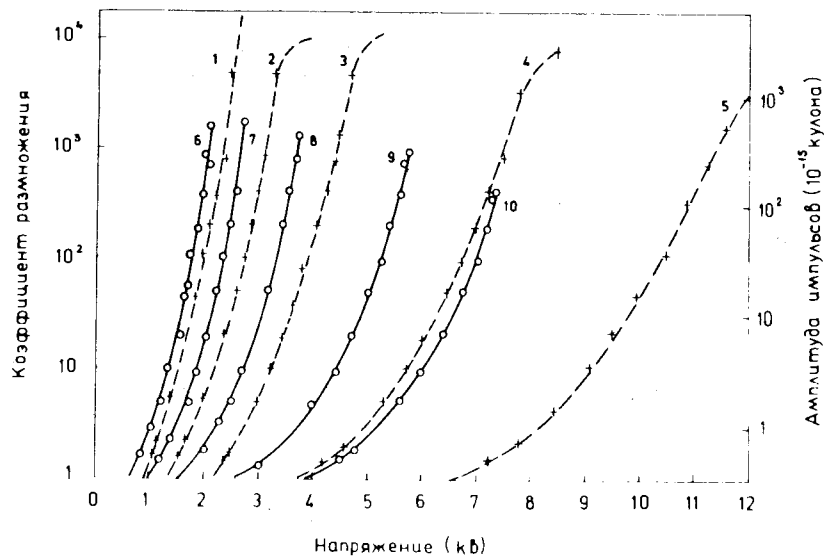


Рис. 2. Амплитудные характеристики счетчика. Диаметр катода 6 мм, диаметр анода 16,4 мкм, 1-5 - давления 5, 10, 20, 50, 100 атм в смеси 90% метана и 10% аргона; 6-10 - давления 5, 10, 20, 50, 100 атм в аргоне.

Счетчик с большим диаметром катода, заполненный аргоном, при давлениях выше 50 атм работал неустойчиво. В нем часто возникали кратковременные разряды при напряжениях ниже пробивного значения. С ростом давления максимальный коэффициент размножения резко уменьшался и для 100 атм не превышал 20. Это могло быть связано с увеличением расстояния дрейфа электронов в сильном электрическом поле, а также с качеством поверхности катода этого счетчика.

Добавление метана, как и следовало ожидать, значительно улучшает работу счетчиков. Амплитудные характеристики становятся более пологими, а область пропорциональности - более широкой, чем для чистого аргона. При этом плато счетной характеристики становится более протяжным. Счетчики, заполненные смесью 90% аргона и 10% метана, работали устойчиво как при

низких, так и при высоких давлениях. Пропорциональное усиление электронов при этом достигало величины  $\sim 10^4$  или несколько выше при всех давлениях вплоть до 100 атм.

В качественном отношении работа счетчиков с анодами диаметрами 16,4 и 20,8 мкм была одинаковой.

На рис. 3 изображены характерные амплитудные распределения, полученные на этих счетчиках. Первый из приведенных спектров /а/ является типичным для счетчиков с диаметрами нити 16,4 и 20,8 мкм при наполнении их аргоном и смесью аргона с метаном при всех использованных в опыте давлениях. Основной пик этого спектра соответствует энергии 59,6 кэВ. Пик слева на кривой рис. 3а соответствует вылетающим из катода гамма-квантам с энергией  $\sim 8$  кэВ К-излучения меди. Второй спектр /б/ амплитуд импульсов был получен для счетчиков с анодом диаметром 10,4 мкм

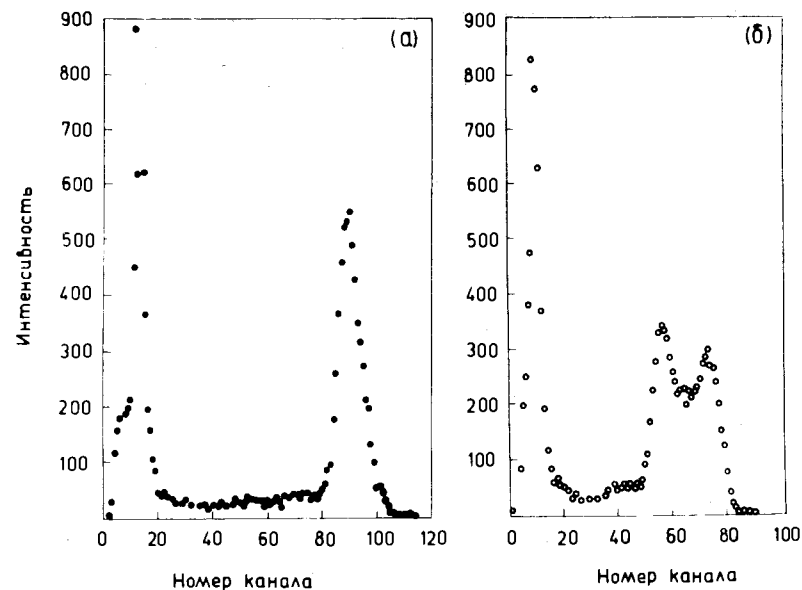


Рис. 3. Амплитудные распределения импульсов от гамма-квантов  $^{241}\text{Am}$  при давлении аргона 50 атм: а/ диаметр анода 20,8 мкм; б/ диаметр анода 10,4 мкм.

при давлениях газа выше 20 атм как для аргона, так и для смеси аргона с метаном. Из рисунка видно, что в этом спектре присутствуют два пика примерно равной интенсивности, разделенные энергетическим интервалом, величина которого росла с увеличением давления газа и приложенного к счетчику напряжения. При этом характер спектра не зависел от интенсивности облучения счетчика гамма-квантами. Такое поведение спектра затрудняет объяснение наблюдаемого раздвоения линии, которое скорее всего связано с дефектами используемой нити диаметром 10,4 мкм.

Энергетическое разрешение счетчиков, определяемое как отношение  $\Delta E/E \cdot 100\%$ , где  $\Delta E$  - полная ширина на полувысоте спектра, зависело от диаметра анода и давления газа, увеличиваясь с их ростом. Однако в широком диапазоне изменения коэффициента газового усиления разрешение не зависело от его величины, что видно из рис. 4, на котором приводятся кривые зависимости величины разрешения от величины КГУ для счетчика диаметром 6 мм с анодом 16,4 мкм при давлениях аргона и смеси аргона с метаном 10, 20, 50, 100 атм.

Характеристики счетчиков и их работа при низких давлениях /до 5 атм/ хорошо согласуются с имеющимися в литературе данными.

Из амплитудных характеристик, подобных приведенным на рис. 2, можно оценить пороговое напряжение начала пропорционального усиления  $V_{\text{пор}}$ , которое зависит от размеров счетчика, а также рода и давления газа. Мы определяли  $V_{\text{пор}}$  как напряжение, при котором коэффициент размножения был равен единице. На рис. 5 приводятся значения величины  $V_{\text{пор}} / R_A \ln(R_K / R_A)$  в зависимости от давления газа. Эти значения довольно хорошо ложатся на прямую /в логарифмическом масштабе/, что свидетельствует о характере зависимости  $V_{\text{пор}} \sim p^{1/3} R_A \ln(R_K / R_A)$ , где  $p$  - давление газа в счетчике,  $R_A$  - радиус анода и  $R_K$  - радиус катода счетчика.

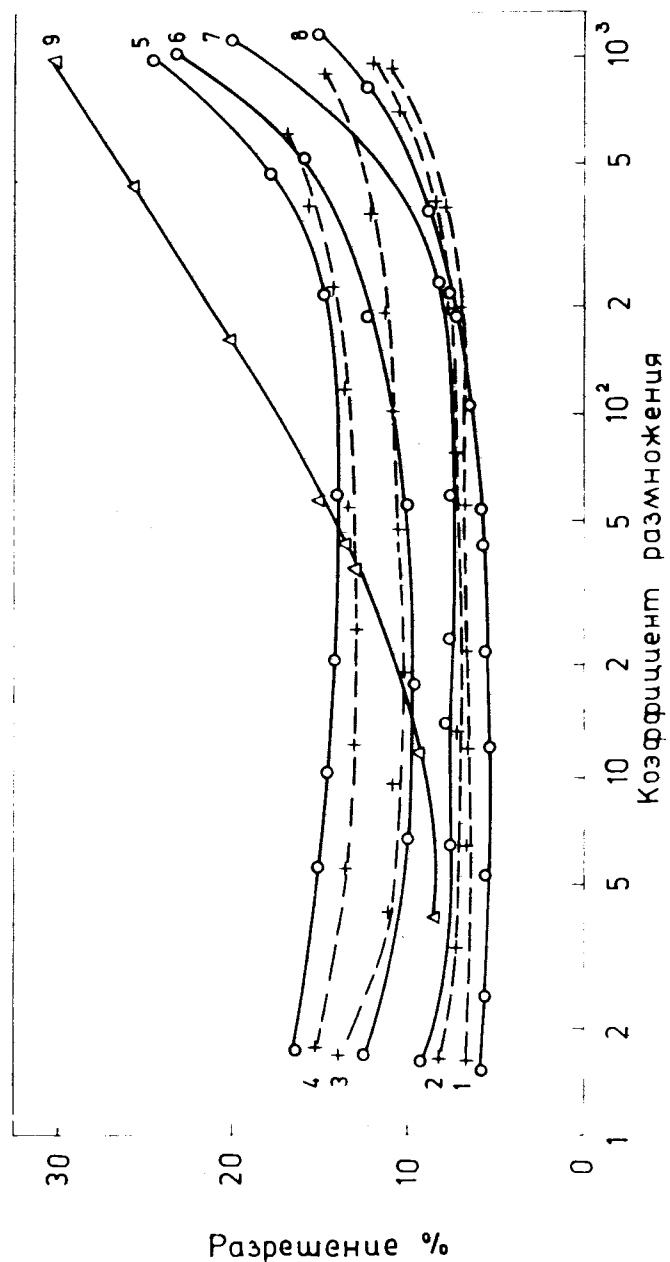


Рис. 4. Энергетическое разрешение счетчика в зависимости от газового усиления. Диаметр катода 6 мм, диаметр анода 20,8 мкм; 1-4 - давления 10, 20, 50, 100 атм в аргоне; 5-8 - давления 10, 20, 50, 100 атм в смеси 90% аргона и 10% метана; 9 - анод, покрытый диэлектрическим слоем, диаметр 11,5 мкм, давление аргона 20 атм.

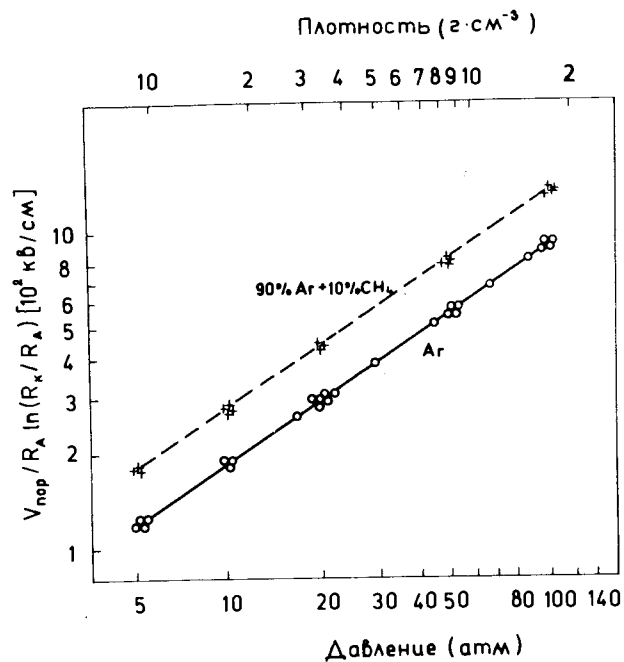


Рис. 5. Зависимость приведенного напряжения начала пропорционального усиления от давления.

Работа счетчика с анодом, покрытым тонким слоем из диэлектрического материала

В ряде работ <sup>1,2,4/</sup>, посвященных исследованию работы счетчиков, заполненных жидким или кристаллическим аргоном, в качестве одной из причин отсутствия пропорционального размножения в этих средах указывается наличие на аноде различных неоднородностей или дефектов - так называемых "горячих точек". Эти дефекты препятствуют получению контролируемого размножения электронов. Для устранения их влияния на разряд в работе <sup>5/</sup> предлагалось использовать в счетчике в качестве анода проводящую нить, покрытую тонким

слоем вещества со слабой проводимостью. С целью выявления закономерностей, характерных для счетчика с таким анодом, мы исследовали работу счетчика с диаметром катода 6 мм при высоких /до 100 атм/ давлениях аргона.

В качестве анода использовалась проволока, покрытая стеклом, со следующими параметрами: диаметр нити - 11,5 мкм, диаметр жилы - 2,5 мкм, толщина стекла - 4,5 мкм, материал жилы - медь, материал стекла - пирекс. Удельное сопротивление стекла -  $10^{12} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ .

На рис. 6 представлена эквивалентная схема включения счетчика, где  $C_{д}$  - электрическая емкость, а  $R_{д}$  - электрическое сопротивление диэлектрического покрытия, равные соответственно

$$C_{д} = \frac{2\pi \cdot 0,0885 \epsilon l}{\ln(1+\delta/R_0)} n\Phi, \quad R_{д} = \frac{\rho \ln(1+\delta/R_0)}{2\pi l} \text{ Ом.}$$

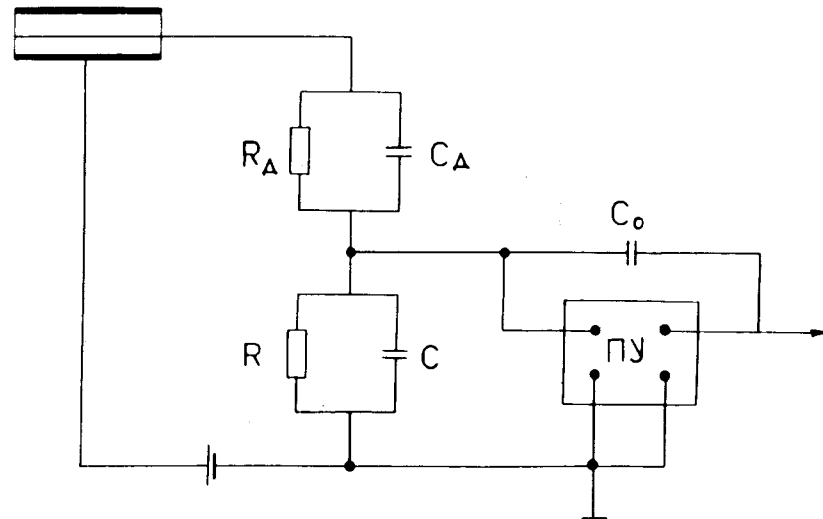


Рис. 6. Эквивалентная схема включения счетчика с анодом, покрытым диэлектрическим слоем.  $R_{д}$  и  $C_{д}$  - омическое сопротивление и электрическая емкость диэлектрического слоя;  $R$  - нагрузочное сопротивление;  $C$  - входная емкость предусилителя ПУ;  $C_0$  - емкость обратной связи предусилителя.

Здесь  $\epsilon$  - диэлектрическая постоянная стекла, равная 5,7;  $\delta$  - толщина диэлектрического покрытия, мкм;  $\ell$  - параметр локализации лавины, по порядку величины равный диаметру анода, см;  $R_0$  - диаметр медной нити, мкм;  $\rho$  - удельное сопротивление стекла, Ом·см.

Емкость  $C_{д}$ , равная  $\sim 2,4 \cdot 10^{-3}$  пФ, существенно меньше емкости обратной связи предусилителя  $C_0$  и емкости  $C$ , равных соответственно  $\sim 1,5$  и  $\sim 15$  пФ.

При изучении работы счетчика с анодом, покрытым диэлектриком, было обнаружено, что амплитудная характеристика - более пологая, а счетная характеристика имеет более протяженное плато, чем у счетчика с обычным анодом. Последнее видно из рис. 7, на котором

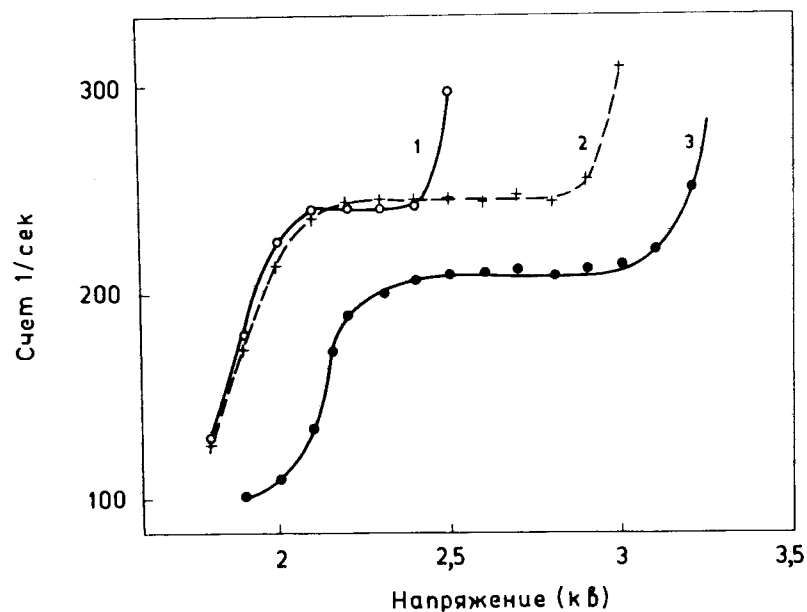


Рис. 7. Счетные характеристики счетчика с диаметром катода 6 мм при давлении 20 атм. 1 - аргон, обычный анод диаметром 10,4 мкм; 2 - смесь 90% аргона и 10% метана, обычный анод диаметром 10,4 мкм; 3 - аргон, анод с диэлектрическим слоем диаметром 11,5 мкм.

для сравнения приведены счетные характеристики счетчика с обычным анодом диаметром 10,4 мкм, заполненного аргоном и смесью аргона с метаном, и того же счетчика с анодом, покрытым слоем стекла и имеющим диаметр 11,5 мкм, заполненного аргоном при давлении 20 атм. Мы обнаружили также, что с увеличением давления газа наклон плато увеличивается и для 100 атм плато практически исчезает.

Несмотря на большую протяженность плато счетной характеристики максимальный коэффициент газового усиления для такого счетчика имел величину, характерную для счетчиков с обычным анодом  $/\leq 10^3 /$ , заполненных аргоном при соответствующих давлениях.

Постоянная времени  $\tau = R_0 C_{д}$ , определяемая емкостью и сопротивлением диэлектрического покрытия, не зависит от его размеров и определяется только удельным сопротивлением и диэлектрической постоянной вещества покрытия. Величина  $\tau$  для используемого нами покрытия равна  $\epsilon_0 \epsilon \rho \approx 0,5$  с. Такое большое значение  $\tau$ , определяющее время рассасывания заряда на емкости  $C_{д}$ , должно приводить к зависимости амплитуды импульса от интенсивности облучения. Однако из-за локальности процессов размножения электронов в счетчике эта зависимость не должна быть сильной. Мы наблюдали, например, уменьшение амплитуды выходного сигнала на  $7 \pm 10\%$  с увеличением счета от 250 до 500 имп/с при использовании аргона под давлением в 100 атм.

Энергетическое разрешение счетчика сильно зависело от давления, резко ухудшалось с его увеличением. Для давления 100 атм даже при малых коэффициентах размножения ширина энергетической линии была больше 20%. При этом, как видно из кривой 9 рис. 5 для 20 атм аргона, разрешение резко ухудшается с ростом газового усиления.

На основании полученных результатов трудно сделать определенный вывод о возможности пропорционального размножения в таком счетчике, заполненном жидким аргоном. Окончательный ответ на этот вопрос может дать лишь непосредственная постановка такого опыта.



В заключение авторы считают своим долгом поблагодарить Б.М.Понтекорво за неизменный интерес к данной тематике и важные обсуждения всех экспериментальных результатов, изложенных в данной статье, а также Е.Н.Русакова за помощь при сборке счетчиков.

### *Литература*

1. *Derenzo S.E. e.a. Preprint UCRL-19254,1969; Derenzo S.E. e.a. Preprint UCRL-20118,1970; Shibamura E. e.a. Bull of Sci. and Eng.Research.Lab.Waseda Univ.,1975, No.69,p.104.*
2. *Гребинник В.Г. и др. ЖЭТФ, 1976, 71, с.417; ОИЯИ, P13-9521, Дубна, 1976.*
3. *Fulbright A.W., Milton J.C.D. Phys.Rev., 1949,76,p.1274; Phys. Rev., 1951,82, p.274; Gilmer T.E., Mace J.R., Palmatier E.D. Rev.Sci.Instr.,1957,28, p.634; Phys.Rev.,1955,97, p.486; Legrand J., Blondel M., Magnier P. Nuclear Instr. and Meth., 1973,p.112, p.101.*
4. *Писарев А.Ф., Писарев В.Ф., Ревенко Г.С. ЖЭТФ, 1972, 63, с.1562; ОИЯИ, P13-6449, P13-6450, Дубна, 1972.*
5. *Писарев А.Ф. ОИЯИ, P13-5838, Дубна, 1971.*

*Рукопись поступила в издательский отдел  
4 апреля 1977 года.*