

97-149



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13-97-149

В.А.Калинников, Н.П.Кравчук, Н.А.Кучинский

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК  
ГАЗОРАЗРЯДНОГО СЧЕТЧИКА  
С ОТРИЦАТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННОЙ ПРОВОЛОЧКОЙ  
НА ВОЗДУХЕ

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

1997

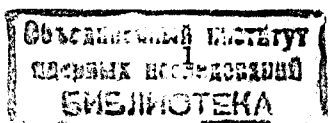
# 1. Введение

В работе [1] описывается цилиндрический газоразрядный счетчик с отрицательно заряженной проволочкой (СОЗП). Высокая напряженность электрического поля вблизи тонкой проволочки дает возможность любому электрону, образовавшемуся вблизи поверхности проволочки, дать начало электронной лавине, развивающейся в направлении от центра. Сильно спадающее электрическое поле и накапливающийся объемный заряд ограничивают развитие лавины.

Электрон вблизи проволочки может образоваться в результате первичной ионизации. Другая, наиболее вероятная, причина появления электрона, инициирующего лавину — это ионно-электронная эмиссия электрона с поверхности проволочки в сильном электрическом поле [2]. Положительные ионы в СОЗП дрейфуют к центральному электроду в область сильных электрических полей. Приблизившись к поверхности проволочки, ион нейтрализуется и с некоторой вероятностью вырывает электрон, дающий начало электронной лавине.

Таким образом, весь объем СОЗП обладает чувствительностью к положительным ионам, а область вблизи проволочки чувствительна и к электронам. Электрическая реакция счетчика в обоих случаях принципиально не отличается и имеет следующие характерные признаки:

- независимость амплитуды и формы сигналов от типа первичной ионизации ( $\alpha$ ,  $\beta$  или  $\gamma$ );
- большая амплитуда сигнала ( $0,12 \pm 0,01$ ) мкА;
- стандартная форма сигнала, длительность (FWHM)  $\cong 50$  нс, фронт  $\cong 5$  нс, (при  $\tau_{\text{вх}} = 2$  нс);
- практически независимость амплитуды сигнала от приложенного напряжения;
- возможность работы в среде с большим содержанием электроотрицательных добавок (например, в воздухе);



- сигналы наблюдаются на проволочках разного диаметра: 10–100 мкм, с увеличением диаметра проволочки амплитуда сигналов возрастает.

В данной работе приводятся результаты исследований, количественно подтверждающие основные перечисленные особенности режима работы СОЗП. Показана зависимость рабочего напряжения от диаметра наружного цилиндра счетчика. Исследована область чувствительности СОЗП.

## 2. Зависимость рабочего напряжения СОЗП от диаметра наружного электрода

В дополнение к исследованиям СОЗП, описанным в работе [1], было испытано несколько счетчиков с диаметром наружного цилиндрического электрода от 10 до 160 мм. Во всех счетчиках центральным электродом служила позолоченная вольфрамовая проволочка диаметром 20 мкм. Результаты испытания счетчиков приведены в таблице 1.

Начальным рабочим напряжением,  $V_0$  — будем считать отрицательное напряжение на центральном электроде, при котором начинают наблюдаться сигналы при облучении счетчика радиоактивным источником  $^{90}\text{Sr}$ . Область рабочих напряжений — это условная величина, соответствующая диапазону напряжений, при которых сравнимы интенсивности сигналов со СОЗП при облучении его радиоактивным источником и без источника.

Измерения проводились с “открытыми” счетчиками, т.е. наполненными атмосферным воздухом при комнатных условиях. За период всего цикла измерений, описанных в работе, атмосферные условия изменялись в следующих диапазонах: температура 19–24<sup>0</sup>С, влажность 22–36%, атмосферное давление 720–760 торр. В данной работе влияние этих параметров, а так же изменения состава атмосферного воздуха, наполняющего счетчик, специально не изучались, но было замечено смещение счетных характеристик на величину 1–2% по напряжению для разнесенных во времени измерений.

Таблица 1. Результаты испытания СОЗП разного диаметра

Радиус счетчика (мм)	5	15	38	79
Амплитуда сигнала, на $R_n = 10$ кОм (В)	1,5	1,2	1,0	0,9
Начальное рабочее напряжение $V_0$ (В)	1885	2250	2550	2600
Область рабочих напряжений (В)	$\leq 5$	20	100	200
Напряженность поля на $r=10$ мкм (кВ/см)	300	300	310	290

Из таблицы 1 видно, что счетчики разного диаметра начинают чувствовать радиоактивный источник при величине напряженности поля у поверхности проволочки одного порядка. С увеличением диаметра счетчика уменьшается величина сигнала, а отношение эффект-фон улучшается, в большем диапазоне напряжений.

## 3. Описание используемой аппаратуры

Основные измерения были выполнены на счетчике с диаметром наружного цилиндра 76 мм и длиной 160 мм. По оси цилиндра натянута проволочка из позолоченного вольфрама диаметром 20 мкм. Наружный цилиндр склеен из двух слоев майлара с общей толщиной 150 мкм, внутренняя поверхность цилиндра алюминизирована. В средней части цилиндра имеется отверстие для облучения счетчика  $\alpha$ -частицами. Внутренний объем счетчика сообщается с атмосферой через отверстия в основаниях цилиндра.

Отрицательное высокое напряжение подается на центральную проволочку через ограничительное сопротивление 1 мОм. Наружный электрод (цилиндр) заземлен. Сигнал через разделительную емкость 4700 пФ поступает на усилитель с входным сопротивлением  $R_{вх} = 2$  кОм.

Блок-схема измерительной аппаратуры, используемой для измерения счетных характеристик и амплитудных спектров, показана на рис. 1. Для измерения счетных характеристик исполь-

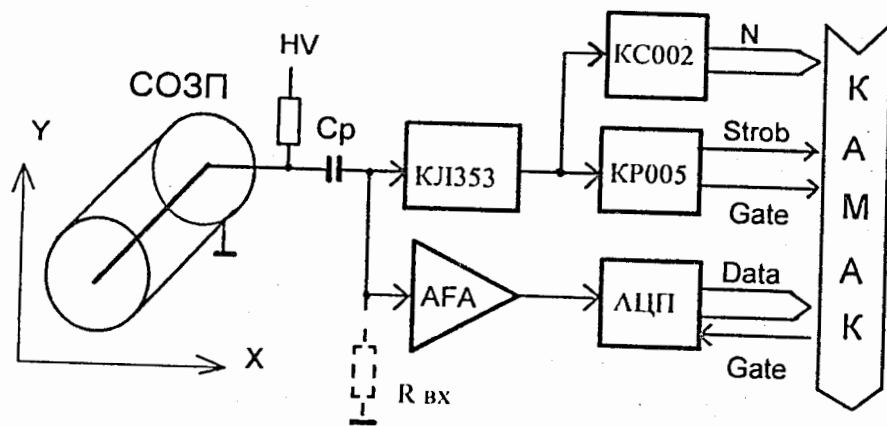


Рис. 1. Блок-схема измерительной аппаратуры. СОЗП — счетчик с отрицательно заряженной провололкой, НУ — высокое напряжение,  $C_p$  — разделительная емкость, АФА — спектрометрический усилитель с входным сопротивлением  $R_{вх}$ , КЛ 353 — блок формирования и временной привязки сигналов, КС 022 — интенси-метр, КР 005 — блок формирования временных ворот, АЦП — амплитудно-цифровой преобразователь

зовался интенсиметр КС 022. Сигналы со счетчика, сформированные в блоке КЛ 353, запускали счетный вход интенсиметра.

Схема для измерения амплитудных спектров состоит из спектрометрического усилителя АФА 1101 с активным фильтром пороговой схемы запуска КЛ 353, амплитудно-цифрового преобразователя (8АЦП 335, разработка ЛЯП ОИЯИ) и блока КР 005, организующего временные ворота для запуска АЦП.

Измерения проводились с постоянным временем интегрирования  $\tau_{и} = 0,5$  мкс, что существенно превышает длительность сигнала со СОЗП. Поэтому регистрируемые спектры сигналов отражают распределение величины электрического заряда, выделяющегося в разряде.

Сигнал со СОЗП поступает на пороговую схему КЛ 353, где формируется временная привязка ("gate") для стробирования АЦП. Длительность сигнала "gate" в блоке КР 005 выбирается таким образом, чтобы максимум амплитуды сигнала лежал на середине временного строба для АЦП. Сигналы со СОЗП, проинтегрированные в усилителе АФА 1101, поступают на вход АЦП. Выработанный в блоке КР 005 сигнал "gate" запускает АЦП, который производит измерение амплитуд сигналов, соответствующих срабатыванию СОЗП. Затем при помощи РС и КАМАК производится набор статистических данных.

#### 4. Счетные характеристики СОЗП и оценка его эффективности

Во время изучения счетных характеристик СОЗП его центральная часть облучалась источниками ( $\alpha$ ,  $\beta$  или  $\gamma$ ), направленными по диаметру счетчика через коллиматор диаметром 2 мм. Зависимость интенсивности счета от напряжения показана на рис. 2а, б. Верхняя кривая относится к случаю облучения счетчика радиоактивным источником  $^{90}\text{Sr}$ , нижняя кривая — без источника.

Характер приведенных зависимостей принципиально не отличается для случаев облучения СОЗП источниками  $\alpha$ ,  $\beta$  или  $\gamma$ -частиц, а также для разных образцов проволочки, используемых

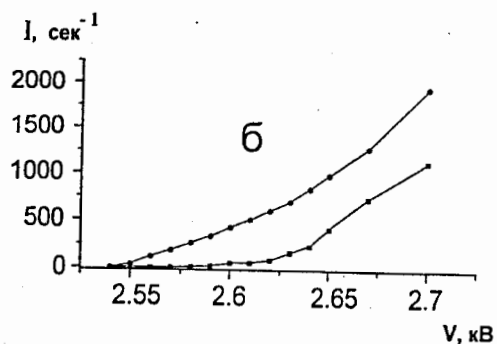
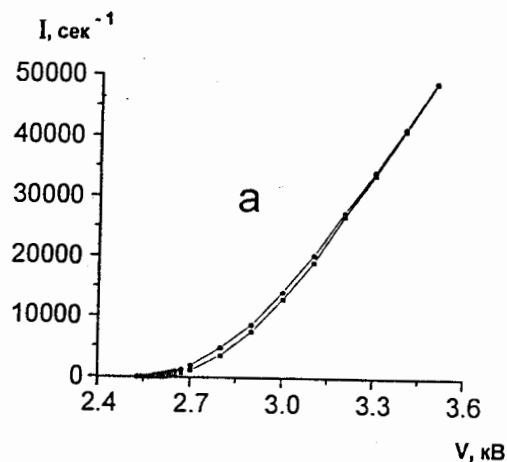


Рис. 2. Счетные характеристики СОЗП, ● — при облучении  $^{90}\text{Sr}$ , ■ — без источника

в качестве центрального электрода, и незначительно изменяется при изменении внешних условий в указанных выше пределах.

Понятие “эффективность счетчика” для СОЗП требует уточнения. Счетчик, описанной конструкции, является детектором положительных ионов типа времяпроекционной камеры с большим временем сбора  $\sim 10^{-3} - 10^{-4}$  с. Поэтому обычная методика определения эффективности с использованием сцинтилляционных счетчиков и схем совпадения не применима. Эффективность регистрации трека СОЗП определяется выражением

$$\xi_T = N_o K_M \xi^+, \quad (1)$$

где  $N_o$  — число пар ионов, образованных в объеме счетчика одним треком,

$K_M$  — коэффициент, учитывающий возможность множественного срабатывания счетчика от одного трека,

$\xi^+$  — эффективность регистрации отдельного положительного иона.

$$N_o = \nu l \quad (2)$$

и

$$\xi^+ = \zeta_c \xi_a, \quad (3)$$

где  $\nu$  — удельная ионизация,

$l$  — длина трека, проходящего через счетчик,

$\zeta_c$  — коэффициент собирания ионов на проволочку,

$\xi_a$  — вероятность эмиссии электрона.

Измеренные счетные характеристики СОЗП и интенсивность радиоактивного источника позволяют сделать только оценку величин  $\xi^+ \sim 0,5 - 1$  и  $K_M \xi^+ \sim 10^{-3} - 10^{-4}$  для некоторого диапазона напряжений, лежащего выше  $V_0$ .

## 5. Определение чувствительной области СОЗП

Для оценки чувствительности рабочего объема счетчика его центральная часть облучалась сколламированным (диаметр

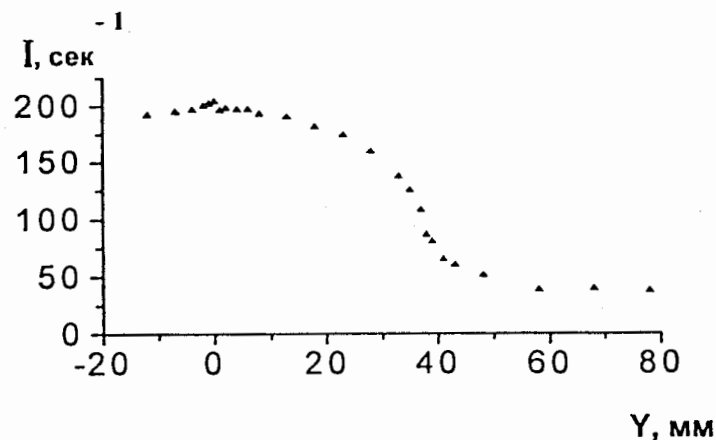


Рис. 3. Интенсивность счета в зависимости от расстояния ( $Y$ ) между треком и центром проволоочки. Координата центра счетчика  $Y = 0$  мм, стенки  $Y = 38$  мм.  $V = 2560$  В

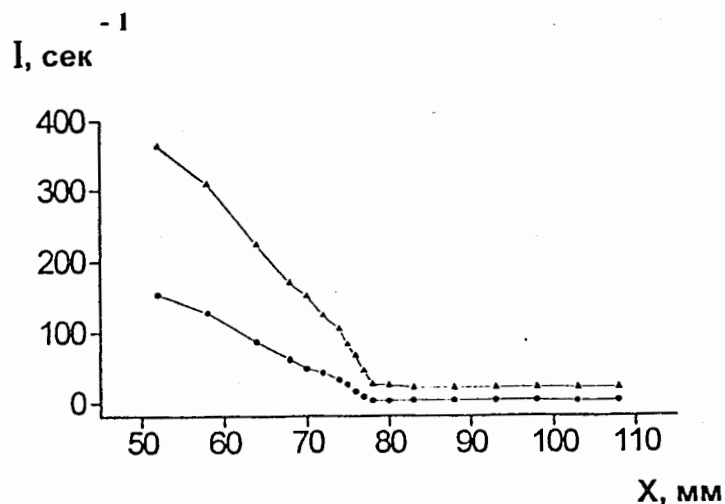


Рис. 4. Интенсивность счета в зависимости от расстояния ( $X$ ) между  $\alpha$ -источником и центром проволоочки. 1)  $\bullet$  —  $V = 2560$  В, 2)  $\blacktriangle$  —  $V = 2600$  В

1 мм) источником  $^{90}\text{Sr}$ . Частицы пересекали счетчик параллельно оси  $X$  на расстоянии  $Y$  от проволоочки (см. рис. 1). Координаты проволоочки  $X = 0$ ,  $Y = 0$ . Изменение интенсивности счета при перемещении источника вдоль оси  $Y$  показано на рис. 3. Наблюдаемое плавное уменьшение счета при удалении от оси счетчика соответствует уменьшению длины трека частицы, проходящего через объем счетчика.

Точность данного способа и заметный вклад рассеянных частиц не позволяют уверенно говорить о возможном увеличении счета вблизи проволоочки за счет большой вероятности развития лавины из электронов первичной ионизации.

Более точное определение границы чувствительной области было выполнено с  $\alpha$ -источником ( $^{238}\text{Pu}$ ). Источник располагался напротив отверстия в наружном цилиндре счетчика и перемещался в перпендикулярном к проволочке направлении (вдоль оси  $X$ , при  $Y = 0$ , см. рис. 1). Интенсивность счета в зависимости от расстояния до центра проволоочки ( $X = 0$ ) показана на рис. 4.

Резкое уменьшение интенсивности счета соответствует расстоянию от центра счетчика 78 мм или 40 мм от наружного цилиндра. Максимальный пробег  $\alpha$ -частиц от источника  $^{238}\text{Pu}$  (энергия 5,5 мэВ) в воздухе равен 40 мм.

Аналогичные результаты получены с источниками  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{239}\text{Pu}$ . Эти результаты подтверждают вывод о чувствительности всего объема СОЗП [1], а не только области вблизи проволоочки, как предполагалось в работе [3].

## 6. Зарядовые спектры сигналов со СОЗП

Сигналы со СОЗП имеют длительность (FWHM)  $\cong 50$  нс, передний фронт  $< 5$  нс и амплитуду  $\approx 0,1$  мкА. В широком диапазоне напряжений (рис. 2а) эти параметры сохраняются с 10% точностью.

Как уже отмечалось ранее, амплитуды сигналов, измеряемые по схеме рис. 1, соответствуют величине электрического заряда, выделяемого в лавине. На приведенных далее зарядовых спектрах один канал соответствует 0,125 пКл.

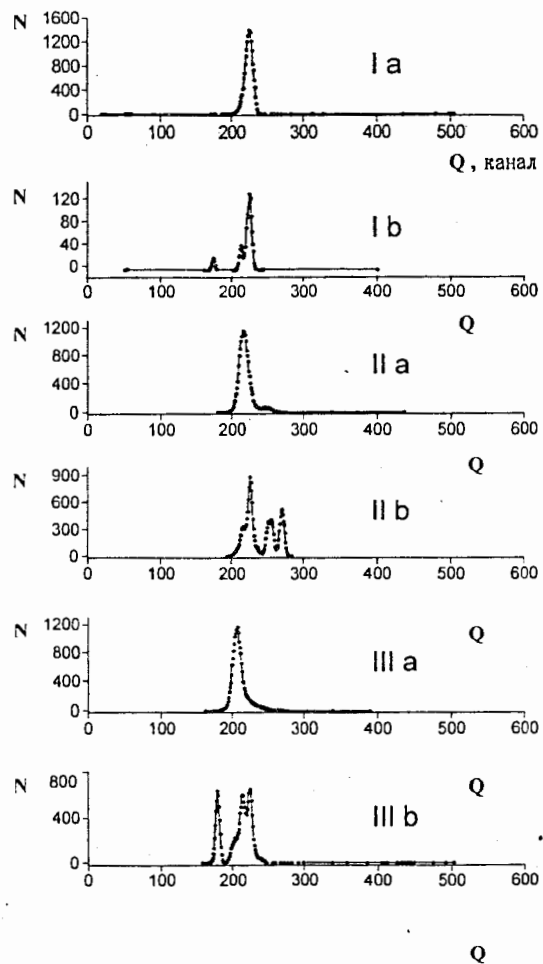


Рис. 5. Зарядовые спектры сигналов со СОЗП,  $V = 2550$  В. а) — при облучении  $^{90}\text{Sr}$ , б) — фоновые. I, II и III — номер образца проволоочки

## 6.1. Основные и фоновые сигналы

Зарядовые спектры сигналов со СОЗП для трех разных образцов проволоочки (I, II и III) показаны на рис. 5. Основные спектры, измеренные при облучении счетчика источником  $^{90}\text{Sr}$ , имеют индекс "а", а фоновые спектры — "б". В данном случае фоном мы называем сигналы, вызванные космическими частицами; положительными ионами, находящимися в рабочем объеме счетчика; и собственным шумом СОЗП, связанным с эмиссией электронов из проволоочки.

Из рис. 5 спектров "а" видно, что для разных образцов проволоочки заряд лавины имеет одинаковое значение ( $\sim 25$  пКл). На фоновых спектрах "б" (рис. 5) также имеются сигналы с такой величиной заряда. Их происхождение можно связать с космическими частицами и положительными ионами воздуха. Положение остальных пиков на фоновых спектрах носит случайный характер для разных образцов проволоочки.

Важно отметить, что интенсивность счета при наборе фоновых спектров была 20–30 имп./с, а основных в 10–20 раз выше. Основной и фоновый спектры для каждого образца проволоочки измерялись при одинаковых условиях (напряжение, температура, давление и т.д.).

## 6.2. Зависимость величины сигнала со СОЗП от напряжения

Зарядовые спектры сигналов со СОЗП для случая его облучения  $^{90}\text{Sr}$  при разных напряжениях показаны на рис. 6 и фоновые спектры на рис. 7. Отметим, что спектры, приведенные на одном рисунке, имеют одинаковую статистику, а реальная интенсивность счета отличается на 5 порядков (см. рис. 2а).

С увеличением напряжения ширина распределения основных спектров (рис. 6) увеличивается с 3,5% до 10,5% и среднее значение сначала медленно увеличивается с 202 до 224 канала и затем незначительно уменьшается. Такой характер поведения зарядовых характеристик объясняется механизмом самогашения лавины [1] при достижении определенной объемной плотности заряда.

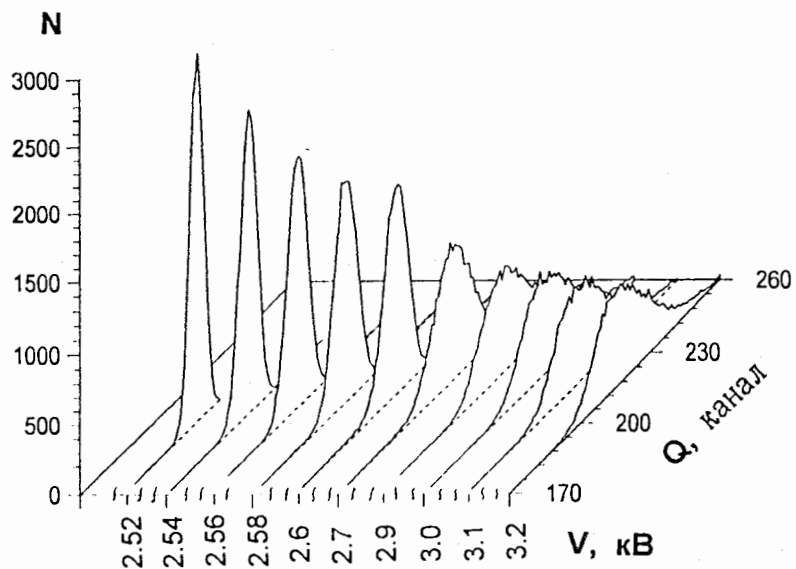


Рис. 6. Зарядовые спектры сигналов со СОЗП при разных значениях напряжения на проволочке (образец — III, облучение источником  $^{90}\text{Sr}$ , статистика —  $2 \cdot 10^4$ )

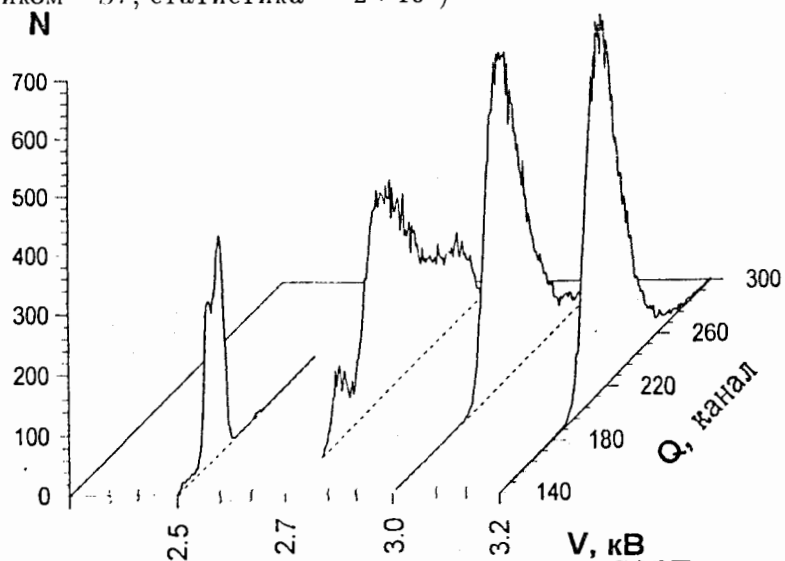


Рис. 7. Зарядовые спектры фоновых сигналов со СОЗП при разных значениях напряжения на проволочке (образец — III, статистика —  $4 \cdot 10^2$ )

При напряжениях меньше  $V_0$  наблюдаются редкие фоновые сигналы с величиной заряда меньше, чем на основных спектрах. С увеличением напряжения пик от этих сигналов смещается к основному пику и одновременно подавляется его возрастающей интенсивностью. Сигналы с амплитудой большей, чем у основного пика, при увеличении напряжения поглощаются расширенным основным пиком.

При больших нагрузках СОЗП ( $> 10^7 \text{ с}^{-1}$   $\beta$ -частиц на объем счетчика) наблюдаются импульсы с величиной заряда в несколько раз меньше основных и с интенсивностью 1 – 10 имп./с. Их вклад заметен только при пониженных напряжениях, в области рабочих напряжений он пренебрежимо мал. Предполагаем, что эти сигналы связаны с дефектами (остриями) на поверхности проволочки.

### 6.3. Зависимость величины сигнала со СОЗП от типа первичной ионизации

На рис. 8 приведены зарядовые спектры сигналов со СОЗП, при облучении  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  и спектр фона. Все спектры получены на одном образце проволочки (II), при одинаковых условиях: напряжение 2550 В, влажность 34%, температура  $22^\circ\text{C}$ , давление 732 торр. Интенсивность счета при наборе спектров с источниками была 550 – 580 имп./с, а при наборе фона – 5 имп./с, поэтому для наглядности время набора фонового спектра увеличено в 10 раз.

Из данных рис.8 видно, что величина сигнала со СОЗП практически независит от типа первичной ионизации. Это согласуется с предполагаемым механизмом развития лавины из одного электрона и ее самогашением при достижении критической плотности объемного заряда. Незначительный сдвиг пиков на спектрах ( $205 \pm 7$  канал) объясняется разной плотностью первичной ионизации, вызванной  $\alpha$ ,  $\beta$  или  $\gamma$ -частицами.

Подъем в области больших значений сигнала для спектров рис. 8(а,б,в) характерен только для одного образца провода и, по-видимому, объясняется особенностями фоновых процессов.



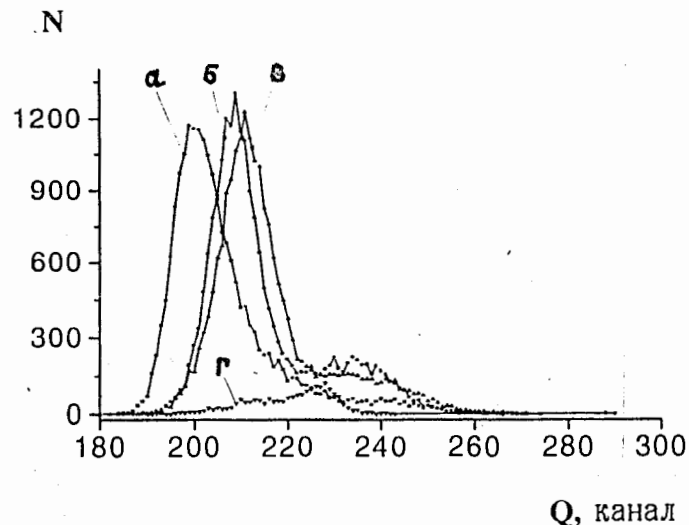


Рис. 8. Зарядовые спектры сигналов при облучении счетчика источниками а)  $^{238}\text{Pu}$ , б)  $^{90}\text{Sr}$ , в)  $^{60}\text{Co}$ , г) — фоновый спектр

## 7. Заключение

Приведенные результаты подтверждают основные особенности режима работы СОЗП и предлагаемое [1] объяснение развития процессов в счетчике. В частности, ионный механизм, обеспечивающий чувствительность всего объема счетчика к положительным ионам. Учитывая, что СОЗП может работать в среде электроотрицательных газов, открывается возможность создания простого прибора для измерения концентрации радона, трития или собственной радиоактивности воздуха.

Для более детального понимания процессов, протекающих в СОЗП, в дальнейшем планируется исследовать форму импульса, временные и другие характеристики счетчика в зависимости от его параметров и для разных рабочих смесей.

## Литература

- [1] Кравчук Н.П., Ляпидевский В.К., Филиппов А.И. ПТЭ, 1997, 3, с.1; Препринт ОИЯИ, Р13-96-289, Дубна, 1996.
- [2] Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М., Наука, 1987.
- [3] Rice-Evans P. Nature, 1971, v.232, p.625.

Калини́ков В.А., Кравчук Н.П., Кучинский Н.А.  
Исследование характеристик газоразрядного счетчика  
с отрицательно заряженной проволокой на воздухе

P13-97-149

Приводятся результаты исследования характеристик цилиндрического газоразрядного счетчика с отрицательным потенциалом на тонком центральном электроде. Особенностью данного счетчика является развитие электронных лавин в направлении от центра, в сильно спадающем электрическом поле. Приводятся счетные и амплитудные характеристики счетчика. Исследована его геометрическая область чувствительности и чувствительность к типу первичной ионизации. Счетчик испытывался на воздухе при нормальных условиях.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1997

Перевод авторов

Kalinnikov V.A., Kravchuk N.P., Kuchinsky N.A.  
Study of the Characteristics of Counter  
with Negative Charged Wire in Air

P13-97-149

The results of investigation characteristics of gas-discharge cylindrical counter with negative potential on thin central electrode have been described. In this counter an electron avalanche develops from the centre in fast decreasing electric field. Counting and amplitude characteristics are presented. Spatial sensitivity and sensitivity to primary ionization have been studied. The counter was tested in air under normal conditions.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1997