

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



P13 - 9521

Г-79

1789/4-76

ЛЯП

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  
ДЕТЕКТИРУЮЩИХ СВОЙСТВ СЧЕТЧИКА,  
ЗАПОЛНЕННОГО ТВЕРДЫМ АРГОНОМ

**1976**

P13 - 9521

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  
ДЕТЕКТИРУЮЩИХ СВОЙСТВ СЧЕТЧИКА,  
ЗАПОЛНЕННОГО ТВЕРДЫМ АРГОНОМ

*Направлено в ЖЭТФ*

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы многие лаборатории мира проводят исследования электронных методов регистрации частиц в конденсированных благородных газах <sup>/1-10/</sup>. Создание детекторов на основе таких сред с высоким пространственным и временным разрешением необходимо для решения ряда физических задач, например, для быстрой регистрации нейтральных излучений и, в особенности, нейтрино <sup>/1,4/</sup>. В большинстве исследований в качестве рабочих сред использовались жидкие аргон и ксенон. В ряде работ проводилось изучение детекторов на основе твердых аргона и ксенона <sup>/2,5,11,12/</sup>.

В работе <sup>/5/</sup> сообщалось о наблюдении размножения электронов /коэффициент усиления в пропорциональной области до 150/ вблизи нити в счетчике, заполненном кристаллическим аргоном, а также ксеноном. В настоящей статье приводятся результаты более детального исследования характеристик счетчика, описанного в работе <sup>/5/</sup>. В качестве рабочей среды использовались жидкий и кристаллический аргон.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Экспериментальная установка включала в себя счетчик, систему очистки газа, систему термостатирования и регистрирующую электронику. Описание принципиальной схемы установки и конструкции счетчика приведено в работах <sup>/5/</sup>. Напомним, что счетчик имел цилиндрический катод диаметром 6 мм, а анодом служила позолоченная вольфрамовая нить диаметром 10 мкм.

Блок-схема электронной аппаратуры, используемой в данных исследованиях, приведена на рис. 1. Сигнал

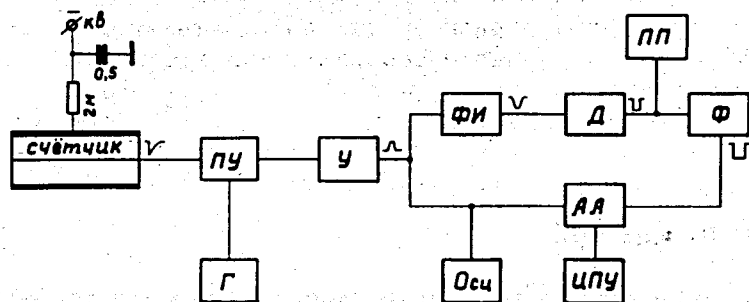


Рис. 1. Блок-схема электронной аппаратуры.

с анода счетчика поступал на зарядочувствительный предусилитель /ПУ/ /13/ / коэффициент передачи  $7 \cdot 10^{12} \text{ В} \cdot \text{к}^{-1}$  / , далее - на линейный усилитель /У/ /максимальный коэффициент усиления 2000/, где одновременно с усилением проводилось формирование сигнала /постоянные интегрирования и дифференцирования составляли  $\tau_{\text{инт}} = \tau_{\text{дифф}} = 1 \text{ мкс}$ /. После усилителя сигнал разветвлялся: один импульс поступал непосредственно на вход амплитудного анализатора АИ-128, а другой - через линейный фазоинвертор /ФИ/, дискриминатор /Д/ и усилитель-формирователь /Ф/ - на запуск анализатора. Эта часть электроники предназначалась для уменьшения загрузки первых каналов анализатора шумовыми импульсами и импульсами малых амплитуд. Импульсы с выхода дискриминатора подавались на пересчетный прибор /ПП/. Наблюдение формы сигналов проводилось с помощью осциллографа /Осц./. Результаты с амплитудного анализатора выводились на цифropечатающее устройство /ЦПУ/.

Амплитудная калибровка электронного тракта проводилась через дозирующую емкость предусилителя от генератора /Г/. Сквозная нелинейность тракта /при изменении сигнала на входе анализатора в пределах  $1 \div 15 \text{ В}$ / не превышала  $\pm 1\%$ . Энергетический эквивалент шумов по аргону при суммарной входной емкости 30 нФ составлял около 50 кэВ /полная ширина на полувысоте/.

Охлаждение счетчика производилось путем регулирования скорости потока паро-жидкостной азотной смеси через термостат. Контроль температуры осуществлялся с помощью термопарных и диодных датчиков, а также с помощью проволочного сопротивления, расположенного внутри счетчика. Процедура получения кристаллического аргона аналогична описанной в работе /5/, однако в отдельных экспериментах, с целью получения более качественного кристалла, скорость охлаждения была уменьшена до 0,2 градуса в час.

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследования проводились при облучении счетчика гамма-квантами от различных источников:  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ . Скорость счета составляла  $\sim 1 \div 100 \text{ с}^{-1}$  в зависимости от активности источников и геометрии облучения. На рис. 2 и 3 приведены типичные

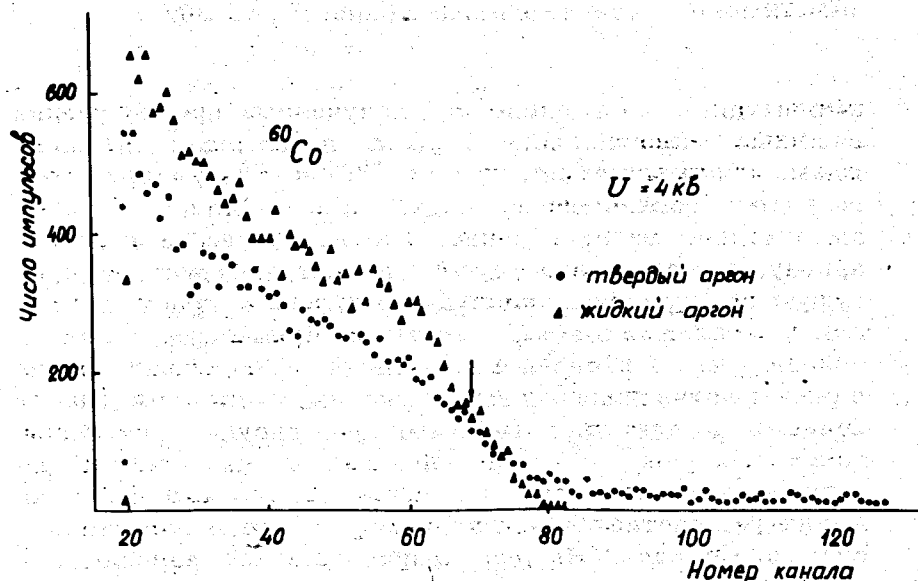


Рис. 2. Амплитудные распределения импульсов от гамма-квантов  $^{60}\text{Co}$  для счетчика, заполненного жидким и твердым аргонem /напряжениe на катоде  $U = 4 \text{ кВ}$ /.

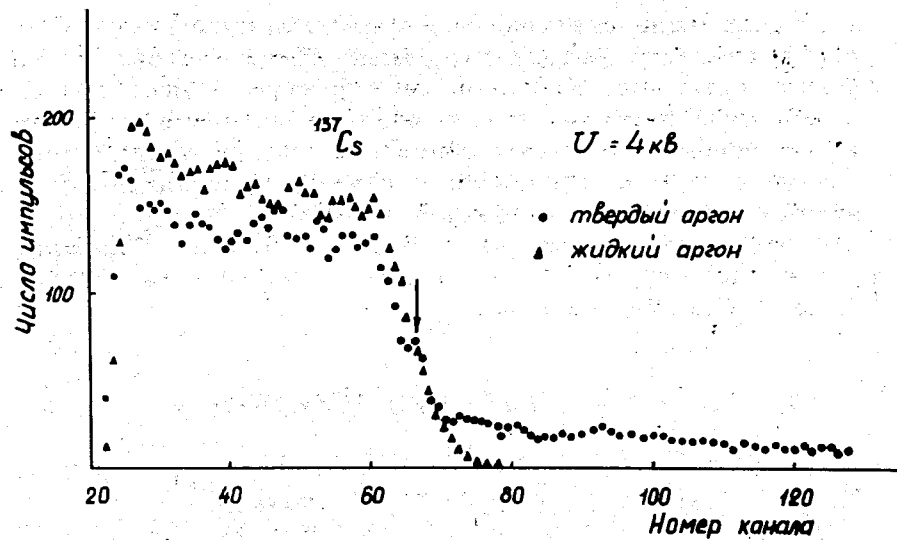


Рис. 3. Амплитудные распределения импульсов от гамма-квантов  $^{137}\text{Cs}$  для счетчика, заполненного жидким и твердым аргонном /напряжение на катоде  $U = 4 \text{ кВ}$ /.

амплитудные распределения, полученные при облучении счетчика, заполненного жидким и твердым аргонном, гамма-квантами от источников  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$  /напряжение на катоде составляло  $U = 4 \text{ кВ}$ /. Как видно из рисунков, амплитудное распределение, соответствующее жидкому аргону, имеет характерную ступенчатую структуру, присущую спектру комптоновских электронов, производимых гамма-квантами в объеме счетчика. Для твердого аргона основная часть распределения имеет такой же вид, однако в спектре отчетливо виден протяженный "хвост" импульсов больших амплитуд. Стрелками на рисунках показаны точки спектров /точки перегиба/, значения амплитуд для которых мы принимали за наиболее вероятные значения амплитуд, соответствующих краям спектров комптоновских электронов. На рис. 4 представлены зависимости этих амплитуд от напряжения на счетчике /амплитудные характеристики/, полученные в результате обработки спектров, снятых при различных напряжениях. Амплитудные характеристики, соответствующие жидкому и твер-

дому аргону, практически совпадают. Из анализа рис. 4 следует, что как для жидкой, так и для твердой фаз характерен ионизационный режим работы. Для напряжений больше  $4 \text{ кВ}$  амплитуда ионизационных импульсов слабо зависит от величины напряжения /практически кривая выходит на насыщение/. При напряжении около  $6 \text{ кВ}$  в жидком аргоне происходила пробой, а для твердого аргона пробой не наблюдался вплоть до  $10 \text{ кВ}$ .

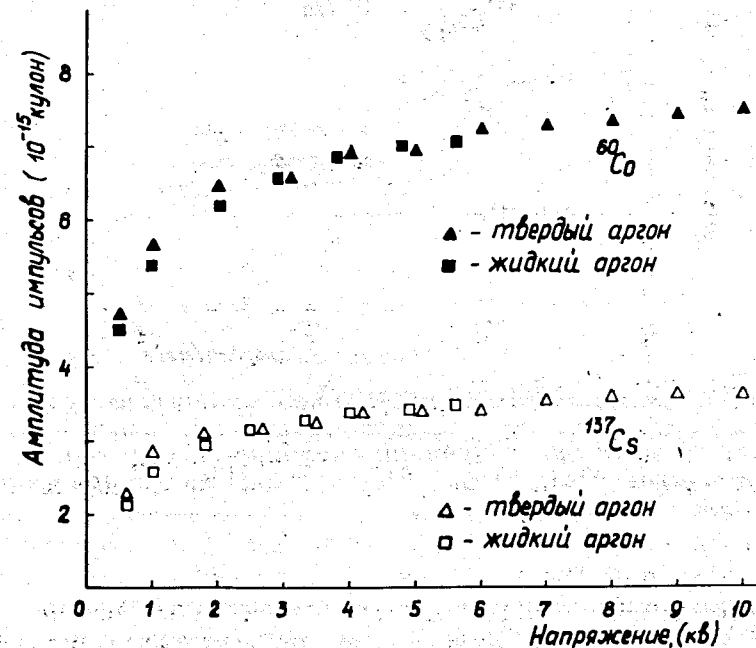


Рис. 4. Амплитудные характеристики счетчика, заполненного жидким и твердым аргонном, полученные при облучении гамма-квантами  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$ .

На рис. 5 приведена зависимость амплитуды ионизационных импульсов для жидкого и твердого аргона от энергии гамма-квантов, полученная при облучении счетчика гамма-квантами от источников  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{113}\text{Sn}$  /напряжение на счетчике  $U = 4 \text{ кВ}$ /. Видно, что с хорошей степенью точности эта зависимость линейна.

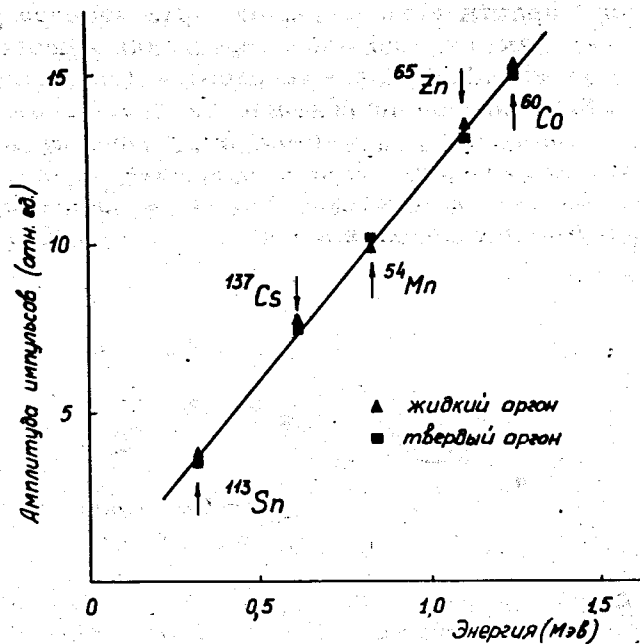


Рис. 5. Зависимость амплитуды ионизационных импульсов для жидкого и твердого аргона от энергии гамма-квантов, полученная при облучении счетчика гамма-квантами от источников  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{113}\text{Sn}$  /напряжение на катоде  $U = 4 \text{ кВ}$ ./

Рассмотрим более подробно амплитудные распределения сигналов /см. рис. 2 и 3/. Как мы уже отмечали, в отличие от жидкого аргона, для твердого аргона наряду со спектром ионизационных импульсов наблюдается протяженный "хвост" импульсов больших амплитуд. Импульсы, соответствующие "хвостовой" части спектра, появляются при напряжении на счетчике около 1 кВ. При дальнейшем увеличении напряжения амплитуда и интенсивность этих импульсов заметно возрастают. Максимальная амплитуда импульсов, наблюдаемая при самых высоких напряжениях, достигала  $10^{-12}$  Кл. Вклад "хвостовой" части спектра в амплитудное распределение небольшой, зависит от условий опыта /см. ниже/ и не превышает 30%. Интенсивность импульсов, превышающих

ионизационные, и их амплитуда с течением времени заметно уменьшались, в то время как основной спектр ионизационных импульсов не претерпевал никаких изменений за время облучения счетчика, находящегося под определенным напряжением в течение нескольких часов.

На рис. 6 приведены счетные характеристики, полученные при облучении счетчика, заполненного жидким и твердым аргоном, гамма-квантами от источника  $^{60}\text{Co}$ .

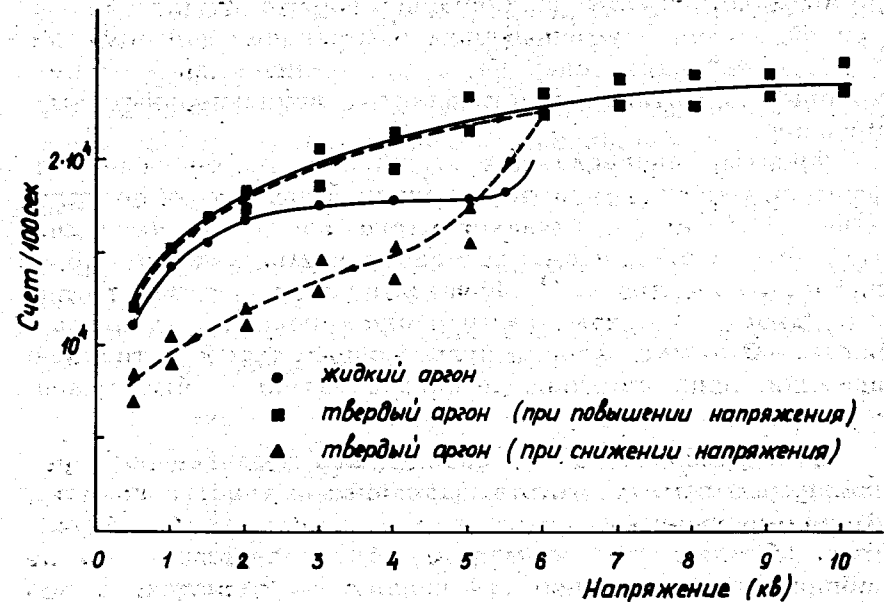


Рис. 6. Счетные характеристики счетчика, заполненного жидким и твердым аргоном, полученные при облучении гамма-квантами  $^{60}\text{Co}$  /см. текст/.

Как видно из этого рисунка, счетные кривые для твердого аргона имеют ряд особенностей. В частности, при повышении напряжения на счетчике скорость счета при каждом значении напряжения падает со временем. Так, на рис. 6 каждая пара вертикальных точек, относящихся к верхней кривой, получена в интервалом времени около минуты /каждая нижняя точка снята позже верхней/. При снижении напряжения счетная кривая проходит ниже кривой, полученной при повышении напряжения /каждая верхняя точка снята позже нижней/. Пунктирной линией показаны

кривые, снятые при увеличении напряжения от 0,5 до 6 кВ /верхняя кривая/ и последующим его уменьшением от 6 до 0,5 кВ /нижняя кривая/. Несовпадение этих кривых, как мы обнаружили, связано с тем, что при уменьшении напряжения на счетчике интенсивность импульсов "хвостовой" части спектра резко падает, а также наблюдается некоторое смещение спектра ионизационных импульсов в сторону меньших амплитуд. Систематический сдвиг точек во времени для каждого значения напряжения для верхней кривой связан с уменьшением интенсивности импульсов "хвостовой" части спектра, а для нижней кривой - с некоторым восстановлением спектра ионизационных импульсов.

Фронты ионизационных импульсов, измеренные без формирования интегро-дифференцирующей цепью, составляли ~ 0,5 мкс для жидкого аргона и ~ 0,25 мкс - для твердого, что согласуется с известными данными о подвижности электронов<sup>16</sup>. Фронт импульсов, соответствующих "хвосту" спектра для твердого аргона, имел длительность ~ 0,5 мкс. Спад импульса определялся постоянной времени цепи счетчика и предусилителя и был равен ~ 300 мкс.

В специальном опыте проверялась эффективность регистрации гамма-квантов различными участками нити. Коллимированным пучком гамма-квантов <sup>60</sup>Co облучались области нити размером ~ 5 мм по длине. Мы не обнаружили изменения эффективности регистрации при перемещении пучка гамма-квантов вдоль счетчика.

Следует отметить, что в различных опытах в зависимости от времени замораживания жидкого аргона получался кристаллический аргон различной степени прозрачности: от очень прозрачного /время кристаллизации ~ 30 ч/, до совершенно непрозрачного /время кристаллизации ~ 1 ч/. При этом существенных различий в характеристиках счетчика в этих опытах не было замечено.

В заключение рассмотрим важный вопрос оценки чистоты используемого нами аргона. Как видно из рис. 4, для жидкого аргона максимальный заряд, собираемый на аноде, при облучении счетчика гамма-квантами <sup>60</sup>Co, равен ~ 7 · 10<sup>-15</sup> Кл, что составляет около 90% от ожи-

даемой величины, рассчитываемой по формуле  $Q = \frac{E}{U}$ ,

где  $E$  - энергия гамма-кванта, поглощаемого в счетчике  $\bar{E} (^{60}\text{Co}) = 1,25 \text{ МэВ}$ ,  $U$  - средняя энергия образования пары электрон-ион, равная для жидкого аргона ~ 25 эВ. Неполный сбор обусловлен, по-видимому, прилипанием электронов к электроотрицательным примесям /в основном, молекулам кислорода/.

В работах /14, 15/ изучалась зависимость коэффициента прилипания от напряженности электрического поля. Было найдено, что коэффициент прилипания  $\eta \text{ см}^{-1}$  ра-

вен  $\frac{AP_0}{E}$ , где  $E$  - напряженность поля в В/см,  $P_0$  -

концентрация примесей в единицах концентрации, равных 10<sup>-6</sup> относительных частей,  $A$  - постоянная, равная для жидкого аргона 8 · 10<sup>3</sup>. Доля электронов, теряемых за счет прилипания к примесям, равна:

$$\frac{Q}{Q_0} = \exp \left\{ - \int_{r_a}^r \eta(r) dr \right\},$$

где  $r_a$  - радиус анода,  $r$  - радиальная координата комптон-электрона.

Из этих данных можно оценить степень чистоты используемого нами аргона, которая оказалась равной ~ 10<sup>-7</sup> относительных частей. Полученное значение согласуется с экспериментальными результатами работы /1/, где приведена зависимость амплитуды ионизационных импульсов, соответствующих гамма-квантам <sup>65</sup>Zn, от концентрации примеси кислорода в жидком аргоне при геометрии счетчика, сходной с нашей.

#### 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Обнаруженное для твердого аргона усиление части импульсов до амплитуд ~ 10<sup>-12</sup> Кл наводит на мысль о существовании вблизи нити микрообластей, в которых происходит размножение электронов. Это могут быть либо микрокристаллические области, в которых возможно

размножение электронов, либо микротрещины, а также микропузыри /их существование в жидком аргоне предполагается в работе /1/ /, куда выходят электроны из твердого аргона с последующим размножением в газовой фазе. Ниже приводится качественное объяснение описанных нами явлений, приемлемое для любого из этих предположений.

Подвижность положительных ионов в кристаллическом аргоне в электрических полях напряженностью до  $10^5$  В/см не обнаружена /16/. По-видимому, она крайне мала, поэтому при размножении электронов в микроробластях образуется экранирующий положительный пространственный заряд, что приводит к уменьшению интенсивности усиленных импульсов со временем. Наблюдаемый нами эффект своеобразного гистерезиса счетной характеристики /см. рис. 6/ можно также объяснить тем, что при снижении напряжения на счетчике напряженность электрического поля в заряженной пространственным зарядом микроробласти становится недостаточной для развития электронной лавины, вследствие чего число усиленных импульсов уменьшается.

Факт размножения лишь части первичных электронов может быть связан также с наличием на поверхности проволочки микроострий, в окрестности которых формируется высокая напряженность электрического поля, сильно отличающаяся от средней величины поля у поверхности нити. Микровыступы особенно сильно влияют на характер развития разряда именно в случае очень тонких нитей, когда область размножения электронов мала и становится соизмеримой с областью неоднородного поля у микровыступов. Для дальнейших исследований будет, по-видимому, целесообразно тонкие нити подвергать специальной дополнительной обработке, при которой будут убираться микровыступы.

Ввиду того, что в работе /5/ не проводился амплитудный анализ и в опыте использовалась электронная аппаратура с порогом регистрации в несколько раз более высоким, чем в настоящей работе, усиленная часть спектра импульсов в случае твердого аргона не могла быть отделена от ионизационной части спектра, и размножение

электронов было принято за эффект, относящийся ко всему спектру.

Представляется интересным проведение дополнительного исследования работы счетчика, заполненного твердым аргонном при максимально низких нагрузках. Возможно, что в силу очень слабой подвижности положительных зарядов в твердом аргоне при резком уменьшении нагрузки счетчика доля усиливаемых импульсов соответственно возрастет.

В заключение авторам приятно поблагодарить Б.М.Понтекорво за неизменный интерес к данной проблеме и поддержку в работе, а также Е.Н.Русакова за помощь при монтаже аппаратуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. S.E.Derenzo et al. Preprint UCRL-20118, 1970.
2. Л.Б. Голованов, В.Д.Рябцов, Е.А.Силаев, А.П.Цвинев. Сообщение ОИЯИ, P13-5404, Дубна, 1970.
3. R.A.Muller et al. Phys.Rev.Lett., 27, 532 (1971).
4. Б.А.Долгошеин и др. Препринт ОИЯИ, P1-6245, Дубна, 1972.
5. А.Ф.Писарев и др. ЖЭТФ, 63, 6, 1562 /1972/; препринты ОИЯИ, P13-6449, P13-6450, Дубна, 1972.
6. S.E.Derenzo et al. Phys.Rev. A, 9, 2582 (1974).
7. J.Prunier et al. Nucl.Instr. and Meth., 109, 257(1973).
8. S.E.Derenzo et al. Nucl.Instr. and Meth., 122, 319 (1974).
9. W.J.Willis, V.Radeka. Nucl.Instr. and Meth., 120, 221 (1974).
10. G.Knies, D.Neuffer. Nucl.Instr. and Meth., 120, 1(1974).
11. А.В.Абрамов и др. Письма в ЖЭТФ, 21, вып. 1, 82-85.
12. G.W.Hutchinson. Nature, 162, 610 (1948).
13. Р.Арльт и др. Материалы V симпозиума по ядерной электронике, Дубна, 103; 1968.
14. D.W.Swan. Proc.Phys.Soc., 82, 74 (1963).
15. D.W.Swan. Proc.Phys.Soc., 83, 659 (1964).
16. L.S.Muller, S.Howe, W.E.Spear. Phys.Rev., 106, 871 (1968).

Рукопись поступила в издательский отдел  
6 февраля 1976 года.