

9/14-73

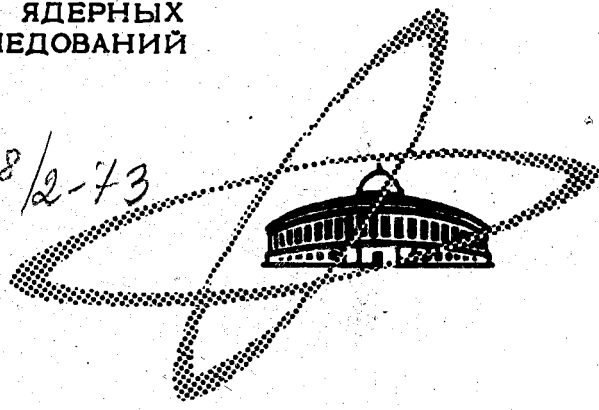
п-34

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

1308/2-73

P13 - 6449



А.Ф. Писарев, В.Ф. Писарев, Г.С. Ревенко

НОВЫЙ ДЕТЕКТОР ЧАСТИЦ -  
КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ НИТЯНОЙ СЧЕТЧИК

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

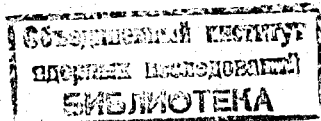
1972

P13 - 6449

А.Ф. Писарев, В.Ф.Писарев, Г.С.Ревенко

**НОВЫЙ ДЕТЕКТОР ЧАСТИЦ -  
КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ НИТЯНОЙ СЧЕТЧИК**

*Направлено в ЖЭТО*



## 1. Введение

Подробные исследования нитяного счетчика частиц с жидким заполнением и постоянным электрическим питанием /1-4/ показали, что счетчик обладает большой нестабильностью в работе, малым коэффициентом размножения электронов и низкой эффективностью регистрации частиц. Совокупность этих обстоятельств в значительной мере явилась в последнее время причиной сужения круга исследований подобного счетчика. Однако сама проблема разработки счетчика или нитяной камеры с плотной средой остается чрезвычайно актуальной.

Сейчас представляется, что одно из перспективных направлений создания такого счетчика связано с использованием импульсных и высокочастотных полей питания. Такой режим позволит исключить из работы счетчика ряд статических и квазистатических явлений, присущих жидкости и препятствующих дальнейшему прогрессу в исследованиях.

Вторая возможность создания детектора с плотной средой /5/ базируется на полной замене жидкости твердым телом, в котором замораживаются или заполимеризовываются нити. Действительно, подвижность электронов в кристаллах, как правило, значительно выше, чем в жидкостях, а плотности жидкой и твердой фаз примерно равны. Поэтому

следует ожидать, что в кристаллах вблизи нитей должен проявляться эффект размножения электронов или дырок, причем этот процесс должен идти более стабильно и более интенсивно, чем в жидкостях.

В использовании твердого вещества в детекторе привлекает и другая сторона, а именно: исключительная простота пространственной фиксации в нем нитей любой длины, что открывает возможность создания детекторов больших размеров.

Настоящая работа посвящена исследованию второго пути создания нитяного детектора - детектора кристаллического типа. К моменту данного исследования был известен ряд публикаций /6-8/, в которых сообщалось о наблюдаемых импульсах ионизации в твердом аргоне и ксеноне. В одной из этих работ /7/ был замечен эффект размножения электронов в твердом аргоне, но поляризация кристалла объемным зарядом была столь быстрой, что автору /7/ не удалось провести каких-либо исследований данного явления.

В качестве рабочих сред в счетчике использовались кристаллические аргон, ксенон и метан.

## 2. Аппаратура и техника эксперимента

Подробно об аппаратуре, использованной в опытах, сообщается в /4/. Здесь же отметим, что при ее разработке максимально учитывалась специфика получения вещества в монокристаллических состояниях - медленное контролируемое охлаждение и строгое термостатирование как жидкой, так и кристаллической фаз. Чувствительность аппаратуры измерения амплитуды и счета импульсов составляла  $\sim 4 \cdot 10^{-5}$  в.

Счетчик имел латунный цилиндрический катод диаметром 6 мм и вольфрамовую нить, покрытую тонкой пленкой золота. Толщина нити составляла 10 мкм, а длина рабочего участка - 6 см. Рабочий объем счетчика хорошо просматривался визуально.

Для исследования влияния примесей в кристалле на работу счетчика исходные газы можно было очищать в специальной системе очистки до разной степени чистоты.

### 3. Исследование счетчика с твердым аргоном

В части опытов использовался аргон марки "особой чистоты". В другой серии экспериментов аргон дополнительно очищался от кислорода в кальциевой ловушке при температуре  $700^{\circ}\text{C}$  и от паров воды в специальном термостате при температуре  $-100^{\circ}\text{C}$ . Чистота аргона по кислороду составляла  $\sim 10^{-7}$ , а по парам воды  $\sim 10^{-6}$  объемных частей.

Процедура получения кристаллического аргона в счетчике состояла в следующем. Сначала аргон сжижался при температуре выше тройной точки на  $5-6^{\circ}\text{C}$ , затем охлаждался до тройной точки и термостатировался. Было найдено, что характеристики счетчика хорошо воспроизводятся при скорости охлаждения жидкого аргона вблизи тройной точки  $< 1,5 \text{ град. час}^{-1}$  и времени термостатирования в этой точке или ниже на  $0,3 - 0,6^{\circ}\text{C}$  больше трех часов. Кристалл аргона получается прозрачным. В начальный момент после кристаллизации кристалл имеет коричневый оттенок, который после указанного времени термостатирования переходит в слегка матовый.

С прозрачным кристаллом счетчик работает исключительно стабильно. В нем не наблюдается зарядки кристалла пространственным объемным зарядом и характеристики воспроизводятся очень хорошо. Стабильность работы счетчика не нарушается при его охлаждении вплоть до температуры жидкого азота. Однако скорость охлаждения должна быть  $< 1,5 \text{ град. час}^{-1}$ .

Амплитудная и счетная характеристики кристаллического аргонного счетчика, облучаемого  $\gamma$ -квантами от  $^{60}\text{Co}$ , представлены

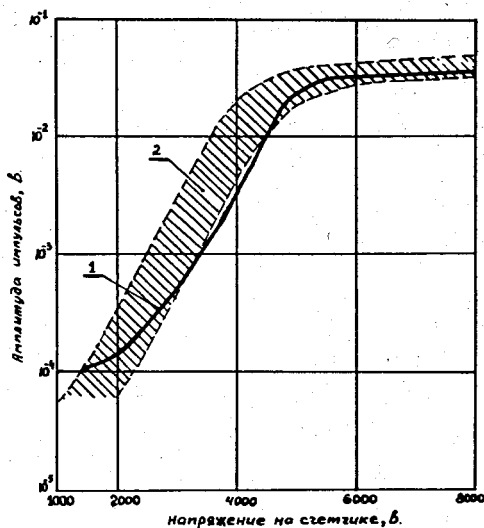


Рис. 1. Амплитудные характеристики. 1 - характеристика аргонового счетчика; 2 - область значений амплитудных характеристик ксенонового счетчика.

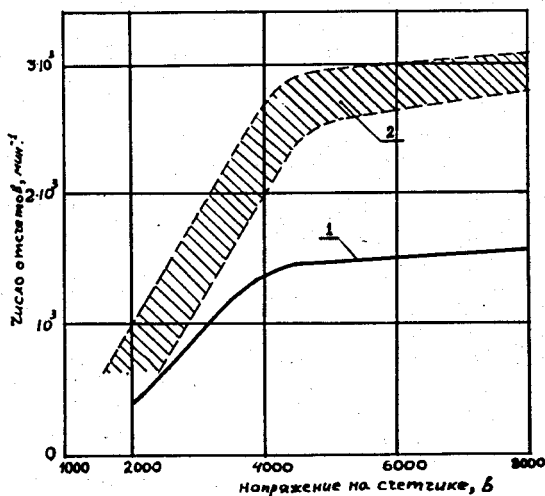


Рис. 2. Счетные характеристики. 1 - характеристика аргонового счетчика; 2 - область значений счетных характеристик ксенонового счетчика.

графиками на рис. 1 и 2. Здесь необходимо отметить, что для сравнения этих счетных характеристик с аналогичными характеристиками газового и жидкостного счетчика, приведенными в работе <sup>/4/</sup>, все данные величины по числу отсчетов следует увеличить в 3,7 раза. Последнее связано с уменьшением во столько же раз интенсивности потока  $\gamma$ -квантов в настоящих экспериментах.

Из анализа амплитудной характеристики видно, что счетчик имеет три типичных области режима работы: - ионизационный режим - до 2 кв, пропорциональный - до 5,2 кв и область насыщения - свыше 5,2 кв. В пропорциональной области коэффициент усиления составляет ~ 150.

В области насыщения спектр импульсов существенно выравнивается. Их разброс не превышает величины 1,5. Предельное значение амплитуды импульсов, как видно из рис. 1, составляет  $4 \cdot 10^{-2}$  в. Последнее ограничивается, по-видимому, пространственным объемным зарядом, возникающим в момент размножения электронов вблизи нити.

Счетная характеристика (см. рис. 2) имеет пологое плато протяженностью 3 кв. Скорость счета в середине плато составляет  $1600 \text{ мин}^{-1}$ , что примерно в 6 раз больше, чем в газе под давлением ~ 100 атм <sup>/4/</sup> (в этом сравнении учтен коэффициент 3,7). Такое увеличение счета приближенно соответствует изменению плотности рабочей среды.

Передний фронт импульсов имел длительность ~ 1 мксек, а спад импульсов - 500 мксек и определялся постоянной времени цепи счетчика и входа измерительного тракта.

Из длительности переднего фронта импульсов расчетным путем была определена подвижность положительных ионов и твердом аргоне. Она оказалась равной ~  $0,1 \text{ см}^2 \text{ в}^{-1} \text{ сек}^{-1}$ . Подвижность имеет, по-видимому, как обычно в кристаллах, дырочную природу. Отметим, что ранее подвижность положительных зарядов в твердом аргоне не наблю-

далась. Подвижность была известна лишь для твердого ксенона, равная  $2 \cdot 10^{-2}$  см<sup>2</sup> в<sup>-1</sup> сек<sup>-1</sup> /8/. Ниже будет показано, что подвижность зарядов в твердом аргоне, как и в ксеноне, всецело определяется чистотой и степенью "идеальности" кристалла.

В опытах проверялась также эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов различными участками нити. Для этого коллимированный пучок  $\gamma$ -квантов перемещался вдоль нити счетчика. Было найдено, что эффективность регистрации по всей длине нити неизменна.

#### О некоторых особенностях работы счетчика с несовершенным кристаллом аргона

При быстром замораживании аргона или малом времени термостатирования кристалла вблизи тройной точки наблюдается, соответственно, и быстрое почернение кристалла. При форсированных режимах охлаждения кристалл получается совершенно непрозрачным. Однако и в таких несовершенных кристаллах все же наблюдается эффект размножения электронов, но кристаллы быстро заряжаются и амплитуда и скорость счета импульсов падают. Скорость зарядки пропорциональна несовершенству кристалла, интенсивности облучения  $\gamma$ -квантами и величине приложенного напряжения. Так, для полностью незаряженных кристаллов спад амплитуды импульсов происходит за несколько секунд или минут. Для частично прозрачных кристаллов это время удлиняется до десятков минут и даже часов. Таким же временем зарядки обладает и только что образовавшийся прозрачный кристалл, но имеющий коричневый оттенок.

Заряженный кристалл с наложенным или снятым внешним полем, но при убранном  $\gamma$ -источнике, очень медленно восстанавливается. Быстрая же нейтрализация потенциала от объемного заряда в кристалле достигается при реверсе поля на счетчике. Так, при подаче напря-



жения обратной полярности амплитудой  $\sim 3$  кв счетная и амплитудная характеристики восстанавливаются за 3-5 сек.

При действии реверсного поля с помощью осциллографа четко наблюдается холодная инжекция электронов из проволочки в кристалл. Последующая подача на счетчик рабочего напряжения сопровождается, как правило, появлением импульсов большой амплитуды, достигающей до 1 в. Часть этих импульсов является ложной, другая часть принадлежит  $\gamma$ -квантам. Через 2-3 минуты переходный процесс заканчивается и ложные импульсы исчезают. Амплитуда импульсов от  $\gamma$ -квантов становится равной амплитуде, соответствующей полной чувствительности счетчика при данном напряжении. Наблюдаемый эффект хорошо объясняется механизмом захвата и освобождения инжесктированных электронов на мелких энергетических уровнях в кристалле / 5/.

Механизм зарядки несовершенных кристаллов объемным зарядом объясняется, по-видимому, эффективным захватом дырок ловушками поверхностного и объемного типа.

Вторая особенность работы аргонового счетчика состоит в том, что частично несовершенный кристалл после выдержки вблизи тройной точки в течение нескольких часов становится более совершенным. Такой кристалл не заряжается пространственным зарядом и дает устойчивые воспроизводимые характеристики.

В специальном опыте проверялось влияние на работу счетчика примеси воздуха, вводимого в аргон на стадии газовой или жидкой фаз. Было установлено, что содержание в твердом аргоне  $10^{-4}$  объемных долей воздуха полностью выводит счетчик из работы.

В одном из экспериментов нами проверялась возможность образования в твердом аргоне паровых пузырьков и размножения в них электронов вблизи нитей. Путем быстрой откачки паров аргона в трой-

ной точке достигалось вскипание его и замораживание. В счетчике визуально были видны пузырьки различного диаметра. В таком аргоне также наблюдалось размножение электронов от  $\gamma$ -квантов при напряжении на счетчике около 1 кв. Амплитуда импульсов достигала 0,1 в. Однако кристалл быстро заряжался.

#### 4. Исследование счетчика с твердым ксеноном

Исходный газообразный ксенон перед конденсацией очищался от паров воды до  $10^{-6}$  объемных долей и кислорода - до  $10^{-7}$  долей. Как и в случае с аргоном, в зависимости от скорости охлаждения вблизи тройной точки и времени термостатирования в тройной точке кристаллический ксенон получался разной прозрачности. Наилучшую прозрачность кристалл имел при тех же режимах охлаждения, что и аргон, т.е. при скорости охлаждения жидкости вблизи тройной точки  $< 1,5 \text{ град. час}^{-1}$  и времени термостатирования в точке кристаллизации  $> 3$  часов.

Результаты исследований счетчика с прозрачным ксеноном представлены на рис. 1 и 2. Как счетная, так и амплитудная характеристики имеют целую зону значений. Эти зоны означают следующее. В каждом опыте получались вполне определенные счетная и амплитудная характеристики. Однако от опыта к опыту (от замораживания к замораживанию) эти характеристики точно не воспроизводились. Большая совокупность таких характеристик, полученных во многих опытах, и образовала данные зоны.

Кристаллический ксеноновый счетчик обладает и другой особенностью, а именно, поляризацией кристалла объемным зарядом. Нам не удалось получить кристалл, который совсем бы не заряжался.

Степень зарядки всегда была пропорциональна числу зарегистрированных импульсов и коэффициенту усиления. Очень хорошие кристаллы, обладающие большой прозрачностью, заметно заряжались лишь после  $5 \cdot 10^5$  отсчетов при коэффициенте усиления - 100. Скорость счета в конце зарядки падала на 20-40%, а амплитуда импульсов - до 50%. Кристаллы матового цвета заряжались в несколько раз быстрее. Однако, если на счетчик не подавалось напряжение, или счетчик не облучался  $\gamma$ -квантами, то чувствительность сохранялась неизменной сколь угодно долгое время. При длительной работе со счетчиком обычно наступал динамический режим насыщения, при котором дальнейший спад скорости счета и уменьшение амплитуды импульсов прекращалось. Высота остаточного уровня скорости счета и амплитуды импульсов зависела обычно от напряжения: чем выше напряжение, тем выше был и уровень.

Примечательная особенность работы ксенонового счетчика состоит в том, что при подаче на счетчик реверсного поля - поля обратной полярности - амплитудой в 1 кв счетчик за время 1 сек полностью восстанавливает свою начальную чувствительность независимо от степени предшествующей зарядки.

Все особенности и характеристики счетчика практически не изменяются, если счетчик очень медленно охлаждать ниже тройной точки вплоть до температуры жидкого азота.

Из кривых рис. 1 и 2 видно, что счетчик имеет сравнительно широкое плато. Максимальная скорость счета в ксеноновом счетчике примерно в два раза больше, чем в аргоновом счетчике. Это объясняется, по-видимому, большой тормозной способностью ксенона.

Амплитудная характеристика счетчика имеет два четко выраженных участка - пропорциональный и участок насыщения. Коэффициент

максимального усиления на пропорциональном участке составляет ~150. Из рис. 1 видно также, что амплитудные характеристики ксенонового и аргонового счетчиков в значительной мере совпадают.

В отдельном опыте проверялась эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов разными участками проволоочки. Для этого, как и в опыте с аргоном, коллимированный пучок  $\gamma$ -квантов перемещался вдоль нити. Было найдено, что эффективность регистрации по всей длине нити одинакова.

Проверялась также работа счетчика с неочищенным ксеноном, в котором примеси кислорода, азота и паров воды составляли  $10^{-5}$ . Это исследование показало, что кристалл ксенона заряжается объемным зарядом несколько быстрее, чем кристалл из очищенного ксенона. Для восстановления чувствительности данного счетчика требовалось подавать реверсное поле амплитудой  $\geq 2$  кв.

Длительность переднего фронта импульсов зависела от степени совершенства (прозрачности) кристалла и от опыта к опыту колебалась в пределах 0,5–5 мсек. Отсюда было найдено, что подвижность положительных зарядов в твердом ксеноне составляла  $10^{-1} - 10^{-2}$  см<sup>2</sup> в<sup>-1</sup> сек<sup>-1</sup>. Это значение близко к величине подвижности  $2 \cdot 10^{-2}$  см<sup>2</sup> в<sup>-1</sup> сек<sup>-1</sup>, полученной в /8/.

##### 5. Исследование счетчика с твердым метаном

Твердый метан имеет решетку, подобную решетке кремния и алмаза /10/. Поэтому можно было ожидать, что в твердом метане должны наблюдаться как подвижность электронов, так и их размножение. В связи с этим представлялось интересным выполнить опыт с этим веществом.

Газообразный метан перед использованием в счетчике очищался от легких и тяжелых фракций путем многократной перекристаллизации и откачки. По нашим оценкам, суммарное количество примеси в очищенном метане оставалось на уровне  $10^{-5}$  -  $10^{-6}$  объемных частей.

Результат данного опыта был таким, что нам не удалось получить прозрачного кристалла. Мы не зарегистрировали также в нем импульсов от  $\gamma$ -квантов, хотя напряжение на счетчике достигало 20 кв. Этот результат, возможно, объясняется тем, что в кристалле было много примесных уровней захвата зарядов. Не исключено также, что в кристалле метана образуется большая плотность дислокаций, богатых уровнями захвата. В пользу этого предположения свидетельствует темный цвет кристалла.

## 6. Обсуждение и выводы

В плане разработки детекторов с плотной средой полученные результаты с нитяным кристаллическим счетчиком являются обнадеживающими. Такие счетчики обладают хорошей воспроизводимостью характеристик, имеют широкое счетное плато и большой коэффициент пропорционального размножения электронов. Неидеальность структуры кристалла не сильно отражается на характеристиках счетчика. Поляризация кристалла объемным положительным зарядом в ряде случаев может легко нейтрализоваться путем кратковременной подачи на счетчик реверсного поля небольшой амплитуды.

Стабильная работа кристаллического счетчика открывает перспективы создания нитяных камер большого размера, нити в которых могут строго фиксироваться в пространстве за счет кристаллизации вещества. Смежные электроды в таких камерах должны выполняться из проволок разного диаметра: анод - из тонких, катод - из более толстых или пластин, так как в полях 0,5-1 мв/см происходит интенсивная инжекция электронов из катода в твердый диэлектрик.

В свете предложения Долгошеина и др. /11/ по разработке двух-фазной камеры с переносом электронного следа из жидкости в газ представляется весьма перспективным создать подобную камеру с одной лишь фазой - кристаллической. Нити в такой камере могут замораживаться вблизи боковых стенок и размножение электронов будет происходить непосредственно в кристалле. В принципе здесь видна даже возможность регистрации двух проекций следов частиц. Действительно, если в качестве рабочей среды использовать, например, кристаллический гептан, гексан или бензол, в которых электроны захватываются на мелкие энергетические уровни /12,13/, то двумя последовательными подсветками электроны в следах частиц могут быть освобождены из ловушек и транспортированы для размножения и регистрации к электродам, представляющим собой ортогональные плоскости камеры.

Сейчас представляется, что твердотельная нитяная камера может быть разработана также на кристаллическом гелии, в котором электроны и дырки обладают большой подвижностью /14/. Проблематичным остается вопрос об использовании в счетчиках или камере твердого водорода, так как в нем не обнаружена пока подвижность зарядов /14/.

В заключение авторам приятно поблагодарить В.П. Желепова, Б.М. Понтекорво, Г.И. Селиванова, Л.М. Сороко, В.И. Никанорова за неизменный интерес к данной проблеме и поддержку в работе.

#### Литература

1. R.A.Muller, S.E.Derenzo, J.Smadja, D.B.Smith, R.G.Smitz, H.Zaklad, L.W.Alvarez. Phys.Rev.Lett., 27. 532, 1971.
2. S.E.Derenzo, D.B.Smith, R.G.Smits, H.Zaklad, L.W.Alvarez, R.A.Muller. Preprint UCRL-20118, 1970.

3. Е.А. Кушниренко, А.Г. Чилингаров. В сб. Международная конференция по аппаратуре в физике высоких энергий, Дубна, 1970; 1, 297, 1971.
4. А.Ф. Писарев, В.Ф. Писарев, Г.С. Ревенко. Препринт ОИЯИ, P13-6450, Дубна, 1972.
5. А.Ф. Писарев. Сообщение ОИЯИ, P13-5623, 1971.
6. N.Davidson, A.E.Larsch. Phys.Rev., 74, 220, 1948; 77, 706, 1950.
7. G.W.Hutchinson. Nature, 162, 610, 1948.
8. I.S.Muller, S.Howe, W.E.Spear. Phys.Rev., 166, 871, 1968.
9. Л.Б. Голованов, В.Д. Рябцов, Е.А. Силаев, А.П. Цвинев. Сообщение ОИЯИ, P13-5404, Дубна, 1970.
10. Ф. Зейтц. Современная теория твердого тела. Гостехиздат, 1949.
11. Б.А. Долгошеин, А.А. Круглов, В.Н. Лебеденко, В.П. Мирошниченко, Б.У. Родионов. Препринт ОИЯИ, P1-6245, Дубна, 1972.
12. В.А. Точин. ФТТ, 7, 293, 1965.
13. Б.С. Яковлев, Е.Л. Франкевич. ЖФХ, 40, 1327, 1966.
14. И.А. Гачечиладзе, К.О. Кешишев, А.И. Шальников. Письма в ЖЭТФ, 12, 231, 234, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел  
15 мая 1972 года.