

6450

ЭКЗ. КОЛЛЕКЦИЯ

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

P13 - 6450



А.Ф.Писарев, В.Ф.Писарев, Г.С.Ревенко

ИССЛЕДОВАНИЕ  
НИТЯНОГО СЧЕТЧИКА ЧАСТИЦ  
С ГАЗОВЫМ И ЖИДКОСТНЫМ НАПОЛНЕНИЕМ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1972

P13 - 6450

А.Ф.Писарев, В.Ф.Писарев, Г.С.Ревенко

ИССЛЕДОВАНИЕ  
НИТЯНОГО СЧЕТЧИКА ЧАСТИЦ  
С ГАЗОВЫМ И ЖИДКОСТНЫМ НАПОЛНЕНИЕМ

*Направлено в ЖЭТФ*

Исследование нитяного счетчика частиц с газовым  
и жидкостным наполнением

Исследована работа нитяного счетчика частиц, заполняемого аргоном, ксеноном, метаном и смесями метана с аргоном в жидкой и газовой фазе до давлений 100 атм. Установлено, что счетчик с чистыми газами при больших давлениях работает крайне нестабильно. Газовые смеси дают удовлетворительные характеристики вплоть до давлений 100 атм. Подтверждены данные о счетчике с жидким аргоном и ксеноном. Получены сведения о счетчике с жидким метаном и жидкими смесями метана с аргоном.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна, 1972

Pisarev A.F., Pisarev V.F., Revenko G.S.

P13-6450

Investigation of the Filament Particle Counter  
with Gas and Liquid Filling

Operation of the filament particle counter, filled with argon, xenon, metan and mixtures of metan and argon in the liquid and gaseous state till the pressure of 100 atm., has been investigated. It is determined that the operation of the counter filled with pure gases at high pressure is rather unstable. Gas mixtures show quite satisfactory characteristics till the pressure of 100 atm. The data on the counter with liquid argon and xenon filling have been confirmed, and there were obtained the data on the operation of the counter filled with liquid metan and liquid mixtures of metan and argon.

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.

Dubna, 1972

## 1. Введение

В последние годы в ряде лабораторий ведутся настойчивые исследования по созданию нитяного счетчика частиц с жидкостным наполнением. Предполагается, что вслед за счетчиком может быть создана жидкостная нитяная камера, которая будет обладать высоким пространственным и временным разрешением и большой плотностью рабочего вещества - мишени.

К настоящему времени удовлетворительные результаты получены лишь со счетчиком, который имел нить диаметром 3,5 мкм и наполнялся жидким ксеноном /1/. Эффективность регистрации частиц в нем составляла  $\sim 1$ , а коэффициент пропорционального размножения  $\sim 10^2$ . Однако при работе с тем же счетчиком, но имевшим нить 12 мкм, экспериментаторам не удалось получить удовлетворительного результата.

Многочисленные попытки получить рабочий режим в счетчике с более дешевой рабочей средой - жидким аргоном - не привели к желаемой цели /2,3,4/. Всякий раз при достижении напряженности поля  $\sim 2 \cdot 10^6$  в/см на отдельных участках нити возникало слабое размножение электронов, тогда как на остальной ее длине размножение электронов практически отсутствовало. Дальнейшее повышение напряженности поля приводило к локальному искровому разряду флюктуационного типа.

Явлениям, сопровождающим работу счетчика с жидким аргонем, дан ряд объяснений /2-5/. Основной смысл их сводится к тому, что в аргоне интенсивно проявляются объемные и поверхностные фотопроцессы, приводящие к локальным разрядам. Один из способов борьбы с этим явлением виделся в добавке к аргону гасящей многоатомной компоненты по примеру того, как это делается в газовых самогасящихся счетчиках. Поэтому одной из задач настоящей работы являлась экспериментальная проверка данного предположения. Для этой цели в опытах использовались чистые жидкости - аргон, ксенон, метан - и смеси аргона с метаном.

Экспериментам с жидкими средами предшествовала серия исследований работы счетчика с чистыми газами и газовыми смесями разных концентраций и давлений, доходящих до 100 атм. Основная цель этих исследований заключалась в нахождении закономерностей изменения характеристик счетчика с ростом плотности рабочей среды. Предполагалось, что такие закономерности могут быть экстраполированы к плотности жидкости и помогут глубже понять особенности работы жидкостного счетчика. Думалось также, что опыты с газами позволят более определенно выбрать оптимальную концентрацию жидкой смеси, которая обладала бы наилучшими разрядными характеристиками.

Опыты с газом представляли и самостоятельный интерес для получения новой информации о работе счетчиков с экстремально большим давлением газа.

## 2. Аппаратура

Общая блок-схема аппаратуры показана на рис. 1. Она включает в себя систему очистки газа, систему термостатирования счетчика и измерительную электронику.

а) Конструкция счетчика. Общий вид его вместе с термостатирующей рубашкой изображен на рис. 2. Форма счетчика - цилиндрическая; диаметр катода составляет 6 мм, а анода - нити из вольфрама, покрытой тонкой пленкой золота, - 10 мкм. Высоковольтное напряжение отрицательной полярности подается на катод, а сигнал снимается с нити. У счетчика имеются торцовые окна и вакуумные тубусы для просмотра рабочего объема в осевом направлении. Все детали счетчика перед сборкой тщательно промывались в ацетоне и этиловом спирте. Готовый счетчик перед каждым наполнением рабочей средой тренировался на вакуум и "промывался" рабочей смесью газов. Эти меры предосторожности обеспечивали хорошую воспроизводимость результатов измерения.

б) Система термостатирования. Задающими элементами в этой системе являются термодатчики  $T_1, T_2, T_3, T_4$ , а измерительными - потенциометрические электронные мосты.

Термостатирующая рубашка для счетчика - двухслойная и выполнена из пенопласта. Охлаждение и термостатирование счетчика осуществлялось в широком интервале температур - от комнатной до температуры жидкого азота - путем автоматической подачи в тепловую рубашку счетчика порций жидкого азота. Точность регулирования температуры составляла  $\pm 0,1^\circ$ .

в) Система очистки газа. Система включает в себя (см. рис. 1) бокс с этиловым спиртом для охлаждения газа до температуры  $-100^\circ\text{C}$  и ячейку с металлическим кальцием, нагреваемую до  $700^\circ\text{C}$ . Охлаждение этилового спирта в боксе достигалось с помощью жидкого азота. Газ в боксе вымораживался от паров воды до  $10^{-6}$  объемных частей, а в кальциевой ловушке очищался от кислорода до  $10^{-7}$  частей.

г) Измерительная аппаратура. Она состоит (см. рис. 1) из катодного повторителя, линейного усилителя, пересчетного устройст-

ва и осциллографа, на котором измерялась амплитуда импульсов. Омическая нагрузка для импульсов, поступающих со счетчика, составляла 11 мом, а входная емкость - 50 пф. Чувствительность аппаратуры составляла  $\sim 4 \cdot 10^{-5}$  в.

### 3. Эксперименты с газовым счетчиком

Во всех экспериментах, описываемых ниже, исследовались две характеристики счетчика - амплитудная и счетная. Измерения проводились для аргона, ксенона, метана и смесей аргона с метаном: 99% Ar + 1% CH<sub>4</sub>, 95% Ar + 5% CH<sub>4</sub> и 90% Ar + 10% CH<sub>4</sub>.

Во всех опытах геометрия эксперимента была неизменной и счетчик облучался  $\gamma$ -квантами от внешнего источника <sup>60</sup>Co.

Результаты измерений амплитуды импульсов представлены на рис. 3, 4, 5, 6, а данные счетных характеристик - на рис. 7, 8, 9, 10. Нижняя точка каждой кривой соответствует пределу чувствительности аппаратуры, а верхняя - началу коронного или искрового разряда.

Характеристики счетчика, работающего при низких давлениях аргона, метана и смеси аргона с метаном, хорошо согласуются с экспериментальными данными многих других авторов (см., например, /8-11/).

Из кривых рис. 3 видно, что амплитуда импульсов в чистом аргоне падает с ростом давления. Установлено, что стабильная работа аргонового счетчика наблюдается лишь до давления газа  $\sim 50$  атм. При больших давлениях счетчик работает крайне нестабильно и результаты экспериментов плохо воспроизводятся. В счетчике часто возникают кратковременные разряды при напряжениях заведомо ниже пробивного значения. В некоторых случаях такие разряды приводят в дальнейшем к стабилизации работы счетчика, однако в подавляющем числе случаев за первым же разрядом следует серия непрерывных разрядов. Для их прекращения

напряжение на счетчике приходилось снижать на 20–30%. Счетные характеристики с чистым аргоном, как видно из рис. 8, во всем интервале давлений не имеют плато по напряжению.

Значительно более хорошие результаты получены при работе с метаном. Счетчик при малых и средних давлениях метана (до 50 атм) имеет широкую пропорциональную область (эта область приближенно соответствует линейному участку импульсной характеристики, представленной в логарифмической шкале), которая характеризуется коэффициентом пропорциональности  $\sim 10^4$ . Однако с ростом давления коэффициент пропорционального усиления быстро падает. Данная закономерность может быть объяснена, по-видимому, влиянием объемного пространственного заряда на разряд. Счетное плато у метанового счетчика (см. рис. 8) сначала расширяется с ростом давления, затем сужается и при давлении  $\sim 75$  атм практически исчезает.

Качественная картина работы метанового счетчика под большим давлением заметно отличается от картины работы аргонового счетчика. Так, появление одиночных разрядов обычно не сопровождается последующей серией разрядов. И лишь при самых больших давлениях рабочие импульсы сопровождаются серией затухающих послеразрядных импульсов. Режим работы счетчика при этом сохраняется.

Наилучшие результаты были получены при исследовании смесей аргона с метаном (рис. 4,5,6,8,9,10).

Для всех смесей большой коэффициент усиления ( $\sim 10^4$ ) сохраняется вплоть до давлений 100 атм. До этих значений давления в счетной характеристике наблюдается плато по напряжению. Однако наклон плато с ростом давления быстро увеличивается.

Качественная картина работы счетчика со смесями при всех давлениях схожая. Счетчик работает устойчиво как при низких, так и при высоких давлениях.



На рис. 3 и 7 приведены также результаты измерений с ксеноновым счетчиком. Характеристики этого счетчика, как видно из рисунков, мало чем отличаются от соответствующих характеристик аргонового счетчика.

Длительность переднего фронта импульсов в измерениях с газами зависела от рода газов, давления и напряжения и изменялась в пределах 2 – 10 мксек. Время спада импульсов было равно 500 мксек и определялось постоянной времени цепи счетчика и входа измерительного тракта.

Выше отмечалось, что основная цель данной части исследований заключалась в изучении особенности работы счетчика при больших давлениях газа. С этих позиций полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

Во-первых, при росте давления газа свыше 50 атм амплитуда импульсов заметно падает. Это явление особенно четко проявляется при работе с однородными чистыми газами. Уменьшается ширина и увеличивается наклон счетного плато. При давлениях газа около 100 атм плато практически исчезает.

Во-вторых, работа счетчика при наполнении чистыми газами - аргоном, ксеноном, метаном - при больших давлениях становится неустойчивой. Стабильная работа присуща лишь счетчику, наполненному смесями аргона с метаном. Состав смеси при этом может варьироваться в широких пределах. Стабильности обеспечиваются здесь, по-видимому, действием тех же хорошо известных механизмов гашения разряда, которые сопровождают работу самогасящегося счетчика при низких и средних (несколько атм) давлениях.

Результаты исследований с газами под большим давлением, экстраполированные к плотности, соответствующей плотности жидкости, однозначно указывают на то, что жидкостные счетчики на чистом аргоне, ксеноне и метане должны работать крайне нестабильно. Этот вывод на-

ходится в хорошем качественном согласии с фактическими результатами исследований жидкоаргонового /2,3,4/ и жидкоксенонового /1/ счетчиков. Опыты с газовыми смесями дают обнадеживающее указание на то, что счетчики с жидкими растворами из одноатомных и многоатомных сред должны обладать устойчивыми характеристиками.

#### 4. Эксперименты с жидкостным счетчиком

В этих исследованиях счетчик заполнялся соответственно жидким аргоном, ксеноном, метаном и смесями аргона с метаном.

Первые два опыта из этой серии экспериментов - с аргоном и ксеноном - в значительной мере являлись контрольными, так как для них хорошо были известны экспериментальные данные из работ /1-4/.

Как уже отмечалось, чувствительность аппаратуры в опыте составляла  $4 \cdot 10^{-5}$  в. При емкостной нагрузке 50 пф это позволяло регистрировать импульсы с числом зарядов  $\sim 1,2 \cdot 10^4$ . Комптон-электроны от  $\gamma$ -квантов  $^{60}\text{Co}$  могли создавать в объеме счетчика в жидком аргоне или метане  $\sim 4 \cdot 10^4$  пар первичных зарядов, а в жидком ксеноне  $\sim 5 \cdot 10^4$ . При полном собирании этих зарядов на электроды счетчика максимальная амплитуда импульсов должна была достигать  $\sim 1,5 \cdot 10^{-4}$  в.

Результаты измерений с жидким аргоном и ксеноном представлены кривыми 8 и 10 на рис. 3 и кривыми 7, 8 и 9 - на рис. 7. Из кривых для аргона видно, что амплитуда импульсов в широком диапазоне значений напряжения на счетчике не превышала величины  $10^{-4}$  в. И только при напряжении на счетчике  $\sim 6,5$  кв амплитуда импульсов резко возрастала. Однако эта область напряжений характеризовалась крайней неустойчивостью работы счетчика. Эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов была значительно ниже, чем в счетчике с газовым заполнением (см. кривые на рис. 7). По существу, в эксперименте регистрировались только те  $\gamma$ -кванты, комптон-электроны от которых полностью теряли свою энергию в объеме счетчика.

Аналогичная картина наблюдалась и при работе с жидким ксеноном (см. кривую 10 на рис. 3 и кривую 9 на рис. 7). Здесь также не было получено размножения электронов в счетчике. Однако коэффициент сбора первичных зарядов в ксеноне был несколько выше, чем в жидком аргоне.

Качественно картина работы аргонного и ксенонового счетчиков в деталях повторяла картину, которая возникала в опытах /1-3/.

В опытах с жидким метаном не удалось зарегистрировать импульсы от  $\gamma$ -квантов. При напряжениях на счетчике в 10 кв появлялись локальные разряды, которые сопровождалось обильным образованием темных "хлопьев" и интенсивным перемешиванием жидкости вблизи нити. В этих экспериментах метан предварительно очищался путем многократной перекристаллизации и отгонки тяжелых и легких фракций, в том числе воды и кислорода, до уровня  $10^{-5}$  -  $10^{-6}$ . Поэтому отсутствие импульсов от  $\gamma$ -квантов было связано, вероятно, с наличием в метане электроотрицательных примесей типа вторичных фрагментов от молекул метана. Неожиданным явилось образование в жидком метане самопроизвольных разрядов при напряжении на счетчике всего лишь в 10 кв, тогда как в газообразном метане под давлением 75 атм аналогичный разряд наступал при 13 кв (см. кривую 6 на рис. 3). Этот факт можно объяснить лишь образованием разрядов в пузырьках метана.

При заполнении счетчика смесями из аргона и метана четко наблюдалась граница расслоения этих сред в жидком состоянии. Концентрация образующихся фаз была неизвестной. В каждой из этих фаз не удалось зарегистрировать импульсы от  $\gamma$ -квантов. Напряжение пробоя составляло 6-7 кв. И только когда в аргоне оставались лишь следы примеси метана, были зарегистрированы импульсы от  $\gamma$ -излучения (см. кривую 8 на рис. 7). Амплитуда импульсов оставалась на уровне чувствительности аппаратуры.

Отсутствие эффекта размножения электронов в жидких смесях, равно как и в чистом жидком метане, связано в основном с низким потенциалом пробоя этих жидкостей, который возникал, вероятно, в газовых и паровых микропузырьках.

## 5. Обсуждение и выводы

Исследования с инертными газами еще раз подтвердили благотворное влияние метановой добавки на работу счетчика при значительном расширении по отношению к существующим данным диапазона давления газа, достигающего до 100 атм. Однако применимость этого положения к жидким растворам нуждается в дальнейших экспериментальных доказательствах.

Основной результат исследований с жидкими счетчиками, полученный в данной работе и в работах<sup>1-4</sup>, сводится к признанию того факта, что подобные счетчики отличаются большой нестабильностью. Счетчики весьма чувствительны к малейшим примесям, попадающим в жидкость в неконтролируемых дозах. Шероховатости и микропузырьки пара и газа на поверхности нити являются основными центрами формирования ложных разрядов, которые происходят при сравнительно низких напряжениях. Возможно, что развитию этих разрядов способствуют различные молекулярные пленки, образующиеся на поверхности нитей, на которых могут возникать явления Малтера. На нестабильность работы счетчика влияет, по-видимому, эффект подтягивания к поверхности проволоочки под действием неоднородного электрического поля молекулярных примесей, находящихся в жидкости. Этот эффект должен заметно изменять состав жидкости непосредственно у проволоочки и таким путем влиять на процесс развития электронных лавин. Наконец, следует упомянуть об эффекте

пространственной неупорядоченности молекул в жидкой среде. Этот эффект с неизбежностью должен приводить к кратковременным, но большим флюктуациям энергии электронов в электрическом поле и способствовать раннему развитию неконтролируемых разрядов.

Совокупность рассмотренных факторов будет неизменно сопутствовать всем исследованиям с жидкостным счетчиком с постоянным электрическим питанием и будет неизбежно препятствовать формированию в нем управляемого разряда. Выход из этого затруднения следует искать, по-видимому, на пути использования импульсных и высокочастотных полей или на пути замораживания рабочей среды в счетнике.

В заключение авторы считают своим долгом поблагодарить Б.М. Понтекорво и В.П. Джелепова за неизменный интерес к данным исследованиям и постоянную поддержку в работе. Авторы признательны также Г.И. Селиванову, Л.М. Сороко, В.И. Никанорову, М.П. Баландину, В.Г. Зинову и А.Д. Конину за плодотворные дискуссии и консультации по вопросам, рассмотренным в данной работе.

#### Литература

1. R.A.Muller, S.E.Derenzo, G.Smadja, D.B.Smith, R.G.Smits, M.Zaklad, L.W.Alvarez. Phys.Rev.Lett., 27, 532 (1971).
2. S.E.Derenzo, R.A.Muller, R.G.Smits, L.W.Alvarez. Preprint UCRL-19254, 1969.
3. S.E. Derenzo, D.B.Smith, R.G.Smits, H.Zaklad, L.W.Alvarez, R.A.Muller. Preprint UCRL-20118, 1970.
4. Е.А. Куширенко, А.Г. Чилингаров. В сб. Международная конференция по аппаратуре в физике высоких энергий, Дубна, 1970, 1, 297, 1971.
5. А.Ф. Писарев. Сообщение ОИЯИ, P13-5838, Дубна, 1971.

6. B.Pontecorvo, D.H.W.Kirkwood, G.C.Hanna. Phys.Rev., 75, 982, 983, 985 (1949).
7. H.W.Wilson, S.C.Curran. Philos.Mag., 42, 762 (1951).
8. M.E.Rose, S.A.Korff. Phys.Rev., 59, 850 (1941).
9. J.Byrne, F.Shaikh. Nucl.Instr. and Meth., 79, 286 (1970).
10. M. Atac, J.Lach. Nucl.Instr. and Meth., 86, 173 (1970).
11. F.Shaikh, J.Byrne, J. Kyles. Nucl.Instr. and Meth., 88, 317 (1970).

Рукопись поступила в издательский отдел  
15 мая 1972 года.

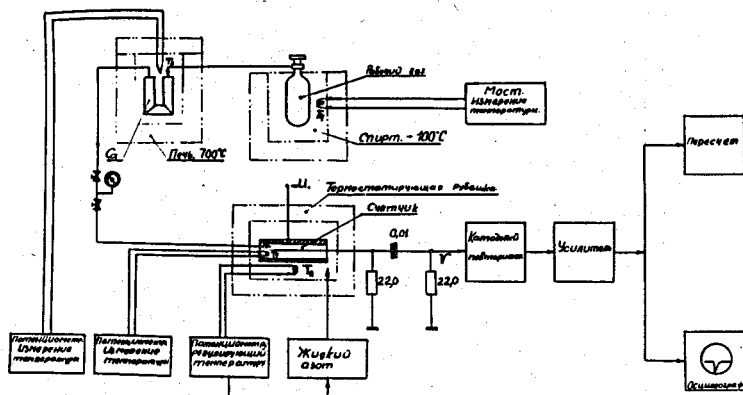


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной аппаратуры.  $T_1, T_2, T_3, T_4$  - термодатчики.

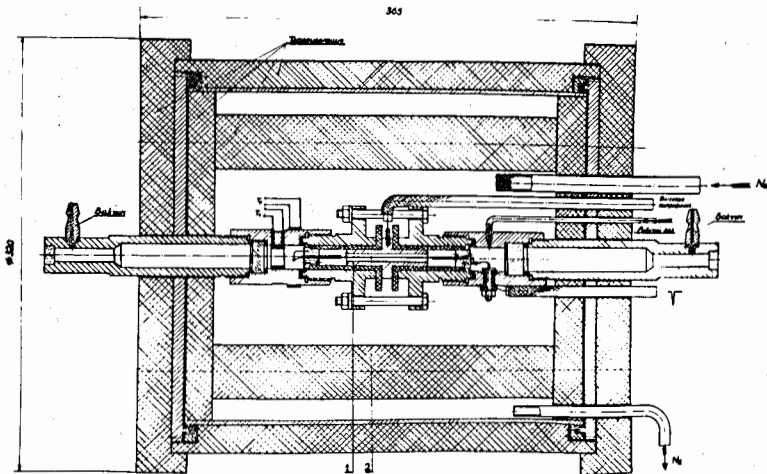


Рис. 2. Конструкция счетчика и термостатирующей рубашки. 1 - катод; 2 - анод;  $T_1$  и  $T_2$  - наружный и внутренний датчики температуры.

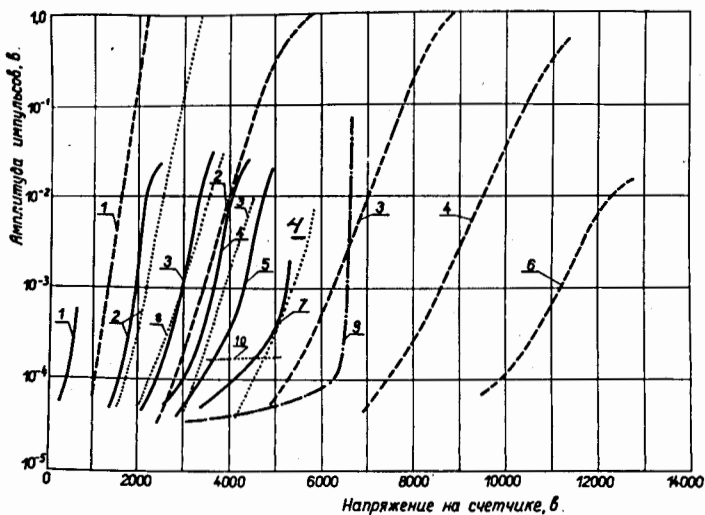


Рис. 3. Амплитудные характеристики счетчика. ———— - аргон; - - - - - метан; ..... - ксенон; 1-8 - соответственно давления газа 1, 10, 30, 50, 70, 75, 100, 25 атм; 9 - жидкий аргон; 10 - жидкий ксенон.

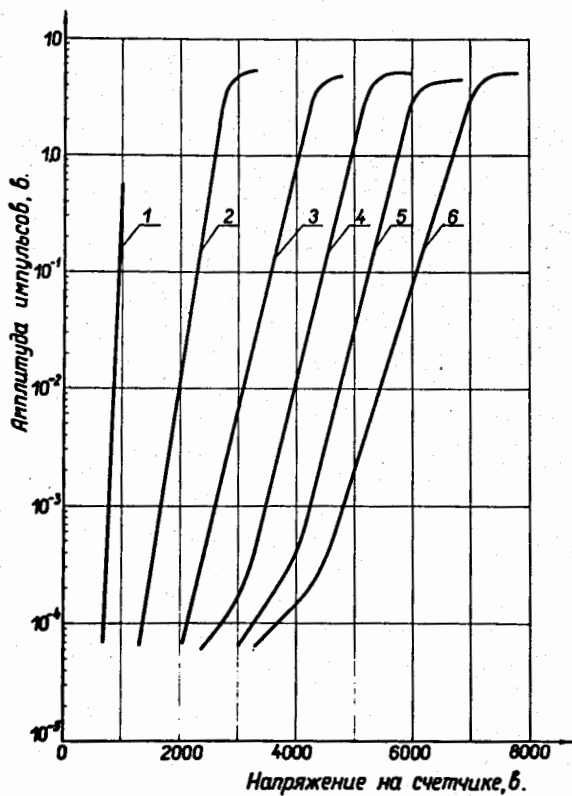


Рис. 4. Амплитудные характеристики счетчика, наполняемого смесью 99% Ar и 1%  $CH_4$ . 1-6 - соответственно давления газа 1, 10, 30, 50, 70, 100 атм.



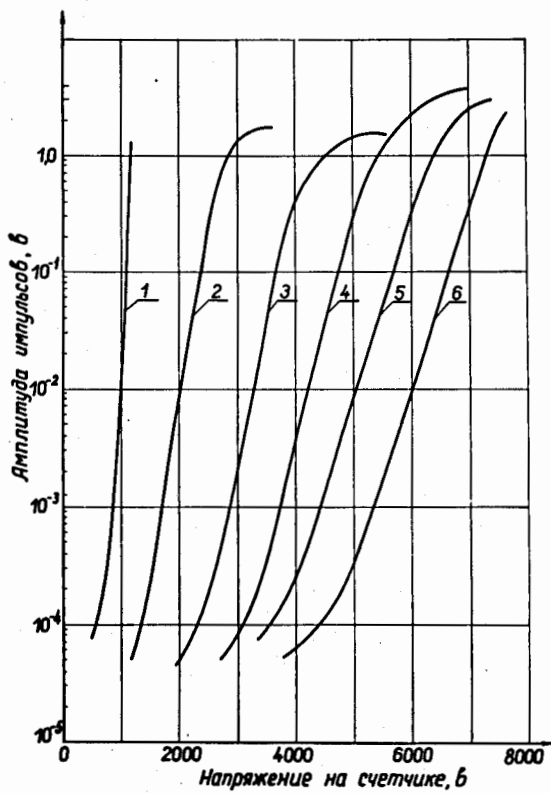


Рис. 5. То же, что на рис. 4, но для смеси 95% Ar и 5%  $CH_4$ .

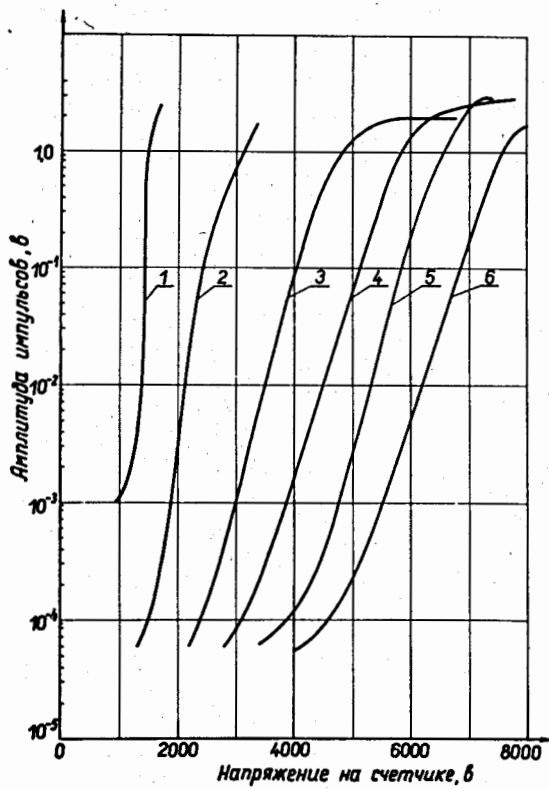


Рис. 6. То же, что на рис. 4, но для смеси 90% Ar и 10%  $CH_4$ .

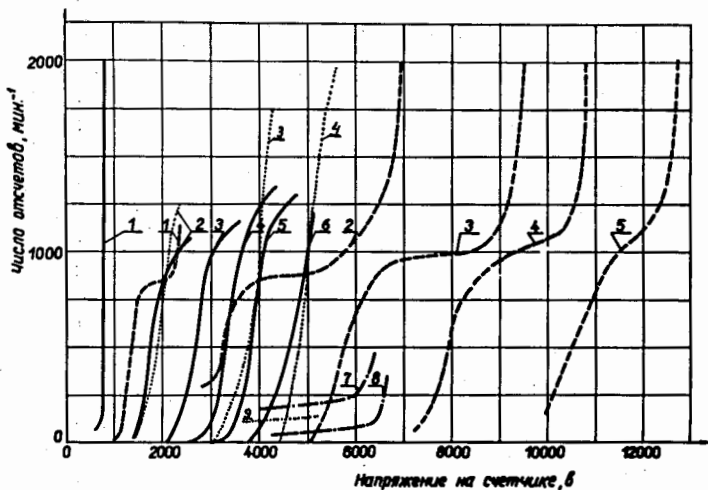


Рис. 7. Счетные характеристики. ————— - аргон; - - - - - метан; ————— - ксенон; 1-6 - соответственно давления газа 1, 10, 30, 50, 75, 100 атм; 7 - жидкий аргон; 8 - жидкий аргон со следами примеси метана; 9 - жидкий ксенон.

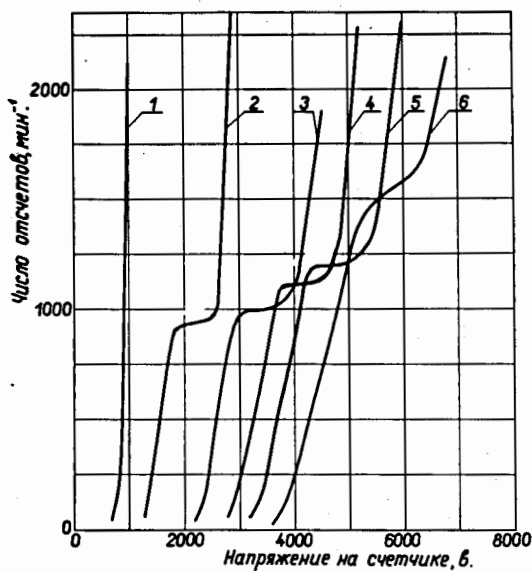


Рис. 8. Счетные характеристики. Наполнение счетчика - 99% Ar и 1%  $CH_4$ . 1-6 - соответственно давления газа 1, 10, 30, 50, 70, 100 атм.

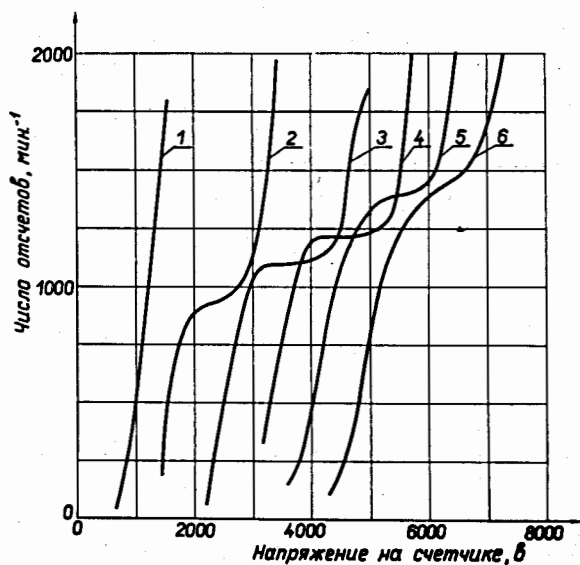


Рис. 9. То же, что на рис. 8, но для смеси 95% Ar и 5% CH<sub>4</sub>.

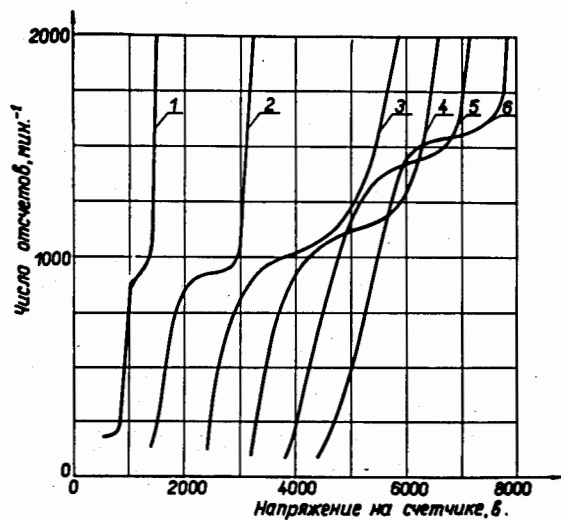


Рис. 10. То же, что на рис. 8, но для смеси 90% Ar и 10% CH<sub>4</sub>.