

11
Г13



Б. А. Долгошеин М. В. Потехин
А. С. Романюк В. В. Сосновцев

051-90

**ГАЗОВЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ДЕТЕКТОРОВ
ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
В КОЛЛАЙДЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ**

Москва 1990

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Б.А.ДОЛГОШЕИН М.В.ПОТЕХИН А.С.РОМАНЮК
В.В.СОСНОВЦЕВ

ГАЗОВЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ДЕТЕКТОРОВ ПЕРЕХОДНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ В КОЛЛАЙДЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Препринт 051 -90

Утверждено
редсоветом института

МОСКВА 1990

УДК 531.1.07

Долгошин Б.А., Потехин М.В., Романюк А.С., Сосновцев В.В.
Газовые смеси для детекторов переходного излучения в кол-
лайдерных экспериментах. М.: Препринт/МИФИ, 051-90,
1990. - 20 с.

Проведены исследования временных характеристик быстрых
газовых смесей на основе Хе с добавками CO_2 и CF_4 . Время-
пролетным способом измерены скорости дрейфа в широком ин-
тервале полей и время собирания электронов в цилиндричес-
ком пропорциональном счетчике с диаметром катода 4,0 и
5,0 мм. Показано, что при атмосферном давлении в смеси
Хе и CO_2 возможно получение времени собирания 34 нс,
а в смеси Хе и CF_4 - 28 нс.

© Московский инженерно-физический институт, 1990 г.

Рукопись поступила в издательский отдел 10.10.90 г.
Ответственный за выпуск Сосновцев В.В.
Редактор Маркина И.Н.

Подписано в печать 5.11.90 формат 60x84 1/16 П.л.1,5
Уч-изд.л. 1,5 Тираж 100 экз. Изд. №051-90 Заказ 2846
Цена 10 коп.

Московский инженерно-физический институт. 115409,
Каширское шоссе, 31

В В Е Д Е Н И Е

К середине 90-х годов вступят в строй ряд ускорителей нового поколения — р-р коллайдери. В СССР — это УНК (Ускорительно-накопительный комплекс), в США — SSC (сверхпроводящий суперколлайдер), в ЦЕРНе — LHC (большой адронный коллайдер). Характерной особенностью условий, в которых должны функционировать физические установки на будущих коллайдерах, является экстремально высокие интенсивности потоков вторичных частиц, например, в случае LHC при проектируемой светимости $\sim 5 \cdot 10^{34}$ см²/с общая частота взаимодействий составит $\sim 10^9$ 1/с, при этом потоки заряженных частиц составят величину 10^5 част./см²с на расстоянии ~ 1 м от места пересечения пучков [1].

Составной частью проектируемых и создаваемых [2] — [4] на коллайдерах установок является детектор переходного излучения — ДПИ, предназначенный для выделения высокоэнергичных электронов. Предполагается, что ДПИ будет состоять из 30–50 слоев радиатор + детектор. Радиатор — слоистая структура, излучающая рентгеновское переходное излучение РПИ при прохождении высокоэнергичного электрона. Детектор — цилиндрические пропорциональные счетчики (ПС) диаметром 4,0 мм, заполненные газовой смесью, содержащей Хе.

Вышеуказанная особенность коллайдерных экспериментов диктует определенные требования к газовому наполнению ПС ДПИ.

1. Газовая смесь должна содержать Хе в количестве, необходимом для эффективной регистрации РПИ.

2. Скорости дрейфа электронов в смесях должны быть как можно выше с тем, чтобы обеспечить минимальное время собирания электронов.

3. Смесь должна ограничивать процессы старения ПС, связанные с полимеризацией молекулярных добавок на анодах, с тем, чтобы обеспечить непрерывную работу ДПИ в течение нескольких лет.

В работе представлены результаты поиска и экспериментального исследования характеристик газовых смесей, удовлетворяющих перечисленным выше требованиям.

ВЫБОР СОСТАВА СМЕСИ

Как показывают расчеты, оптимальная толщина слоя Хе в одном блоке ДПИ составляет 1,6 - 2 мм. Увеличение толщины Хе приводит к ухудшению режекции за счет увеличения фона от ионизационных потерь частиц, уменьшение слоя тоже приводит к ухудшению режекции, но за счет снижения эффективности регистрации квантов РПИ. В случае использования в качестве детектора переходного излучения цилиндрического ПС, например, с диаметром катода 4,0 мм, оптимальная концентрация Хе в смеси при атмосферном давлении должна составить 50-67%.

Чистый Хе - медленный газ, что связано с очень высокими сечениями рассеяния для дрейфующих электронов. Получение очень высоких скоростей дрейфа в смесях с вышеуказанным содержанием Хе - непростая задача, которая дополнительно осложняется тем, что требование ограничения процессов полимеризации молекулярных добавок на анодах ПС резко сужает спектр возможных добавок.

Идея получения высоких скоростей дрейфа в ксеноновых смесях состоит в следующем. Скорость дрейфа электрона в газе в присутствии электрического поля $E_{др}$ определяется следующим известным соотношением [5]:

$$W_{др} \sim \frac{E_{др}}{\sigma \cdot \sqrt{\langle \epsilon \rangle}}, \quad (I)$$

где σ - сечение рассеяния электрона в газе; $\langle \epsilon \rangle$ - характерная равновесная энергия дрейфующего электрона.

Сечение рассеяния электрона σ - функция средней энергии электрона, имеющая резкий минимум в Хе (минимум Рамзауэра) при $\langle \epsilon \rangle \sim 0,8$ эВ. В чистом Хе из-за отсутствия заметных потерь энергии при рассеянии электрона на атомах, средняя энергия электронов достигает значения ~ 1 эВ при $E_{др} \sim 10$ В/см. При дальнейшем увеличении $E_{др}$ растет как средняя энергия электронов $\langle \epsilon \rangle$, так и сечение рассеяния (σ). Как результат - в соответствии с соотношением (I) скорость дрейфа в чистом Хе практически не зависит от поля в интервале $10-10^3$ В/см, оставаясь при этом низкой $2-3 \cdot 10^5$ см/с [6].

Добавки молекулярных газов в Хе приводят к следующим эффектам: у дрейфующего электрона появляется возможность больших передач энергии при рассеянии путем возбуждения колебательных или вращательных степеней свободы молекул. Таким образом, достижение того же значения средней энергии электрона, а следовательно и сечение рассеяния, должно происходить при больших по сравнению с чистым Хе значениях $E_{др}$, а достигаемая при этом скорость дрейфа в соответствии с соотношением (I) должна быть существенно выше, чем в чистом Хе.

Анализ существующей на данный момент информации по скоростям дрейфа в смесях на основе Хе - [7], [8], [9], а также литературы, посвященной процессам старения пропорциональных камер - [10], [11], позволил остановиться на двух молекулярных добавках - CO_2 и CF_4 . С одной стороны, добавки указанных газов позволяют обеспечить очень высокие скорости дрейфа, с другой стороны - сильно ограничено старение ПС.

В некоторых случаях может возникнуть необходимость создания в ПС детектора избыточного давления (например, с целью обеспечения определенной жесткости тонкостенных ПС). В этой ситуации в смесь Хе + CO_2 (CF_4) необходимо добавлять третий компонент, характеризующийся следующими свойствами:

1. Низкая плотность, необходимая для снижения ионизационных потерь частиц в рабочем газе детектора:

2. Низкое сечение рассеяния для дрейфующих электронов.

Указанным требованиям удовлетворяет Ne - при сравнительно низкой плотности он обладает рекордно низкими сечениями рассеяния [6].

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Схематическое изображение установки дано на рис. I. Излучение импульсного лазера ЛПИ-21 (длина волны 337 нм, длительность вспышки - 7 нс) расщеплялось полупрозрачным зеркалом на две части. Первая часть (~ 5% мощности) направлялась на фотокатод ФЭУ-87. Триггерный сигнал снимался непосредственно с первого динода и направлялся на вход А осциллографа С1-99. При разности напряжений (фотокатод - I динод), составлявшей 400 В, триггерный сигнал обладал следующими свойствами.

1. Время нарастания ≤ 2 нс.
2. Временная задержка свет-триггер $\sim 1,5$ нс.
3. Амплитуда сигнала $\sim 0,5$ В.

Вторая часть излучения лазера (95% мощности) направлялась на измерительную ячейку, состоящую из двух плоских электродов диаметром 60 мм, изготовленных из дюралюминия. Межэлектродное расстояние - 5,0 мм. В нижнем электроде расположена цилиндрическая пропорциональная камера, ось которой параллельна плоскости электрода. Анод камеры - золоченая вольфрамовая нить - расположенная вдоль оси катода, закреплена на изоляторах. Измерения проводились при диаметрах катода $d_k = 4,0; 5,0$ мм и диаметрах анода $d_a = 20, 30, 50, 70, 100$ мкм. При освещении верхнего электрода ячейки вспышкой лазера образовывалось $10^3 - 10^4$ электронов, которые, продрейфовав межэлектродное расстояние равное 5 мм, попадали через цель шириной 0,8 мм в объем цилиндрической пропорциональной камеры, где размножались на аноде с коэффициентом $\sim 5 \cdot 10^3 \div 10^4$. Сигнал с анода усиливался быстрым токовым усилителем и подавался на вход осциллографа С1-99. Контроль за коэффициентом газового усиления в ячейке осуществлялся при помощи гамма-источника ^{55}Fe ($E = 5,95$ кэВ).

Измерительная ячейка была расположена в вакуумно-плотном корпусе, оснащенном кварцевым окном для ввода лазерного излучения. Исследуемые газовые смеси готовились непосредственно в объеме корпуса.

Временные диаграммы измерения изображены на рис. I. Сигнал с токового усилителя имел 2 пика. Пик I соответствовал фотоэлектронам, образовавшимся на стенках цилиндрического катода пропорциональной камеры от отраженного света лазера. Положе-

ние пика соответствует времени собирания электронов в пропорциональном цилиндрическом счетчике. Пик 2 соответствовал электронам, дрейфовавшим на анод с верхнего электрода (фотокатода) ячейки.

Таким образом, установка позволяла провести прямые измерения времени собирания электронов в пропорциональном счетчике с точностью ~ 1 нс, а также скоростей дрейфа электронов в интервале значений дрейфового поля 0.1 - 10 кВ/см с точностью $\sim 5\%$.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Были исследованы следующие характеристики смесей.

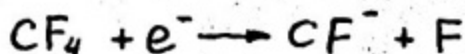
1. Скорости дрейфа электронов в смеси Хе с такими добавками как CO_2 , CF_4 , N_2 , Ne , He в интервале полей 0.1-10 кВ/см.
2. Время собирания электронов в пропорциональном счетчике в указанных смесях с диаметром катода 4,0 и 5,0 мм и диаметром анода 20, 30, 50, 70, 100 мкм при к.г.у. = 10^4 .
3. Амплитудные и спектрометрические характеристики смесей.

СКОРОСТИ ДРЕЙФА

На рис. 2 изображены зависимости скорости дрейфа от напряженности поля в смесях Хе + CO_2 . Характерным для них является то, что при больших концентрациях CO_2 ($> 40\%$) скорость дрейфа в больших полях практически постоянна вплоть до значения $E = 10$ кВ/см. Указанное свойство является существенным, т.к. обеспечивает линейность отношений "координата-время" при использовании цилиндрического счетчика для измерения координат частиц по времени дрейфа. На рис. 3 изображены зависимости скоростей дрейфа от поля для смесей Хе + CO_2 с добавками He, N_2 , Ne и H_2 . Как и следовало ожидать наименьшее влияние на скорость дрейфа при прочих равных условиях оказывают добавки Ne .

На рис. 4 изображены зависимости скорости дрейфа от напряженности дрейфового поля для смесей Хе + CF_4 . Характерным для них является наличие ясно выраженного максимума. Следует отметить, что в больших полях в смеси Хе + CF_4 происходит захват дрейфующих электронов.

На рис. 5 изображена зависимость амплитуды лазерного сигнала от напряженности дрейфового поля для трех смесей, отличающихся содержанием CF_4 . Уменьшение количества дрейфующих электронов связывается с процессом резонансного диссоциативного захвата электронов



имеющих пик в сечении при энергии электронов ~ 4 эВ $\left[I_2 \right]^{(2)}$.

ВРЕМЯ СОБИРАНИЯ

На рис. 6 (а-ж) изображены зависимости времени собирания электронов в цилиндрическом счетчике от содержания молекулярной добавки при к.г.у. = 10^4 . На графиках варьируются диаметры катодов (4,0 и 5,0 мм), диаметры анодов (20–100 мкм). Абсолютное давление Хе в смеси выбиралось таким образом, чтобы эффективная толщина Хе соответствовала оптимальной, то есть была в интервале 1,6–2,0 мм.

При диаметре катода 5,0 мм это соответствует интервалу абсолютных давлений Хе 0,4 – 0,5 атм, а при диаметре катода 4,0 мм – интервалу давления Хе 0,5 – 0,6 атм. Из рисунков видно, что при диаметре катода 4,0 мм в смесях Хе + CO_2 возможно получение времени собирания 34–37 нс, а в смесях Хе + CF_4 – 28–30 нс. Показано, что добавление Ne с парциальным давлением 0,5 атм в любые исследованные смеси вызывает увеличение времени собирания не более чем на 2 нс.

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СМЕСЕЙ

На рис. 7 представлены амплитудные спектры, полученные в смесях на основе Хе при облучении цилиндрического ПС с диаметром катода 5,0 мм гамма-квантами от источника ^{55}Fe ($E = 5,95$ кэВ). Диаметр анода составлял 70 мкм, к.г.у. = $5 \cdot 10^3$.

Видно, что смеси Хе + CF_4 имеют значительно худшее разрешение, нежели смеси Хе + CO_2 , где оно составляет 22% (FWHM). При этом наиболее "быстрая смесь" – Хе + 50% CF_4 имеет очень плохое амплитудное разрешение – 60% (FWHM). Такое ухудшение связано с потерей электронов ионизации в процессе (2), эффективно идущем вблизи анода ПС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показывают, что в цилиндрическом пропорциональном счетчике, предназначенном для использования в ДПИ, можно получить время собирания электронов 34 нс в смесях $\text{Xe} + \text{CO}_2$ и 28-30 нс в случае смесей $\text{Xe} + \text{CF}_4$ при диаметре катода 4,0 мм. При этом смесь $\text{Xe} + \text{CO}_2$ на наш взгляд более предпочтительна, т.к. при незначительном ухудшении времени собирания по сравнению со смесями $\text{Xe} + \text{CF}_4$ она обладает следующими преимуществами.

1. Хорошее энергетическое разрешение, что имеет существенное значение при амплитудных измерениях в ДПИ.

2. CO_2 имеет в 2 раза меньшую плотность, нежели CF_4 , что приводит к некоторому снижению ионизационных потерь частиц в смеси и улучшает режекционную способность ДПИ.

3. Наличие плато в зависимости скорости дрейфа от напряженности дрейфового поля позволяет ожидать линейности в соотношении "координата-время дрейфа" при использовании цилиндрических ПС в координатных измерениях по времени дрейфа.

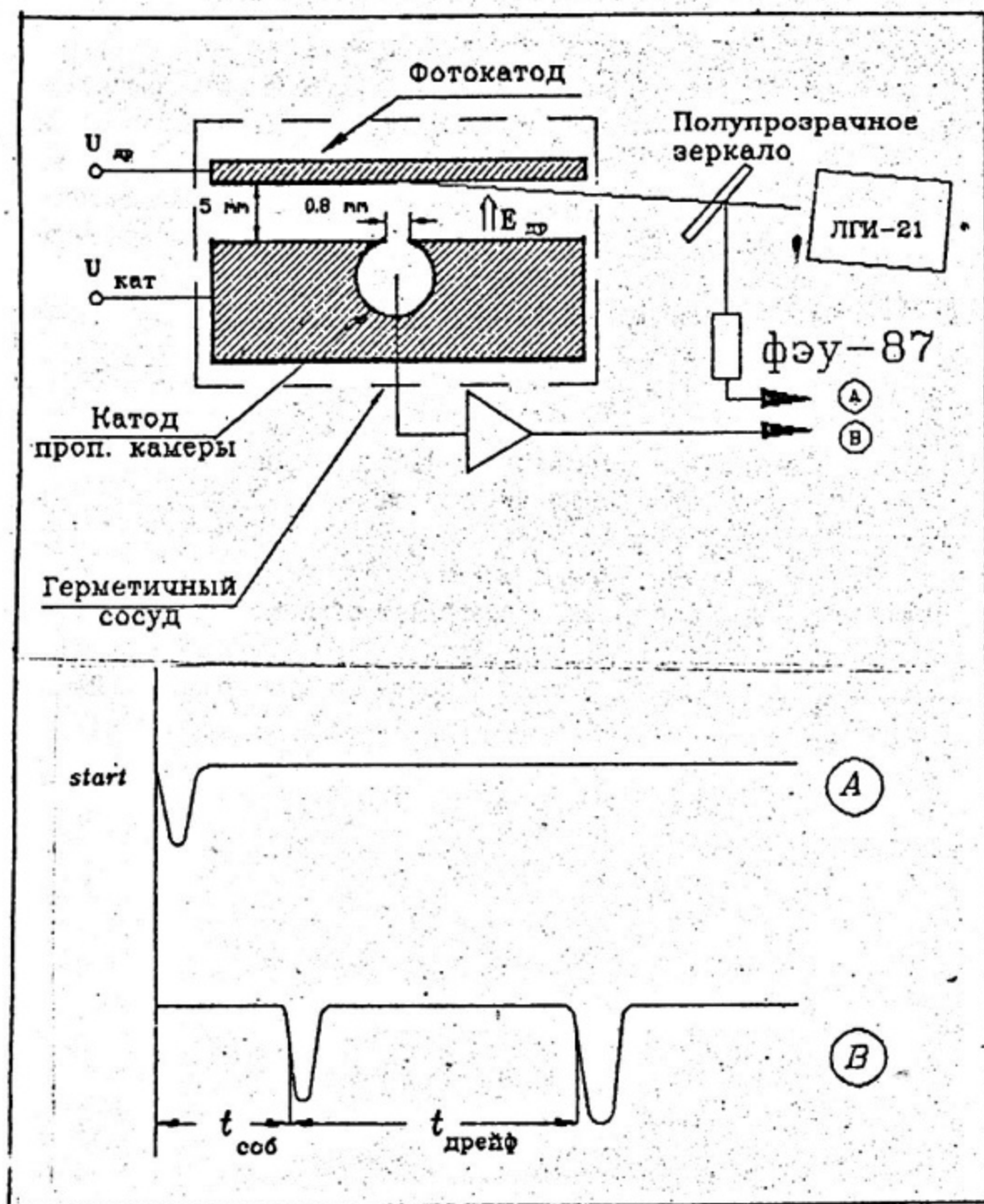


Рис. I. Блок-схема установки и временные диаграммы измерений

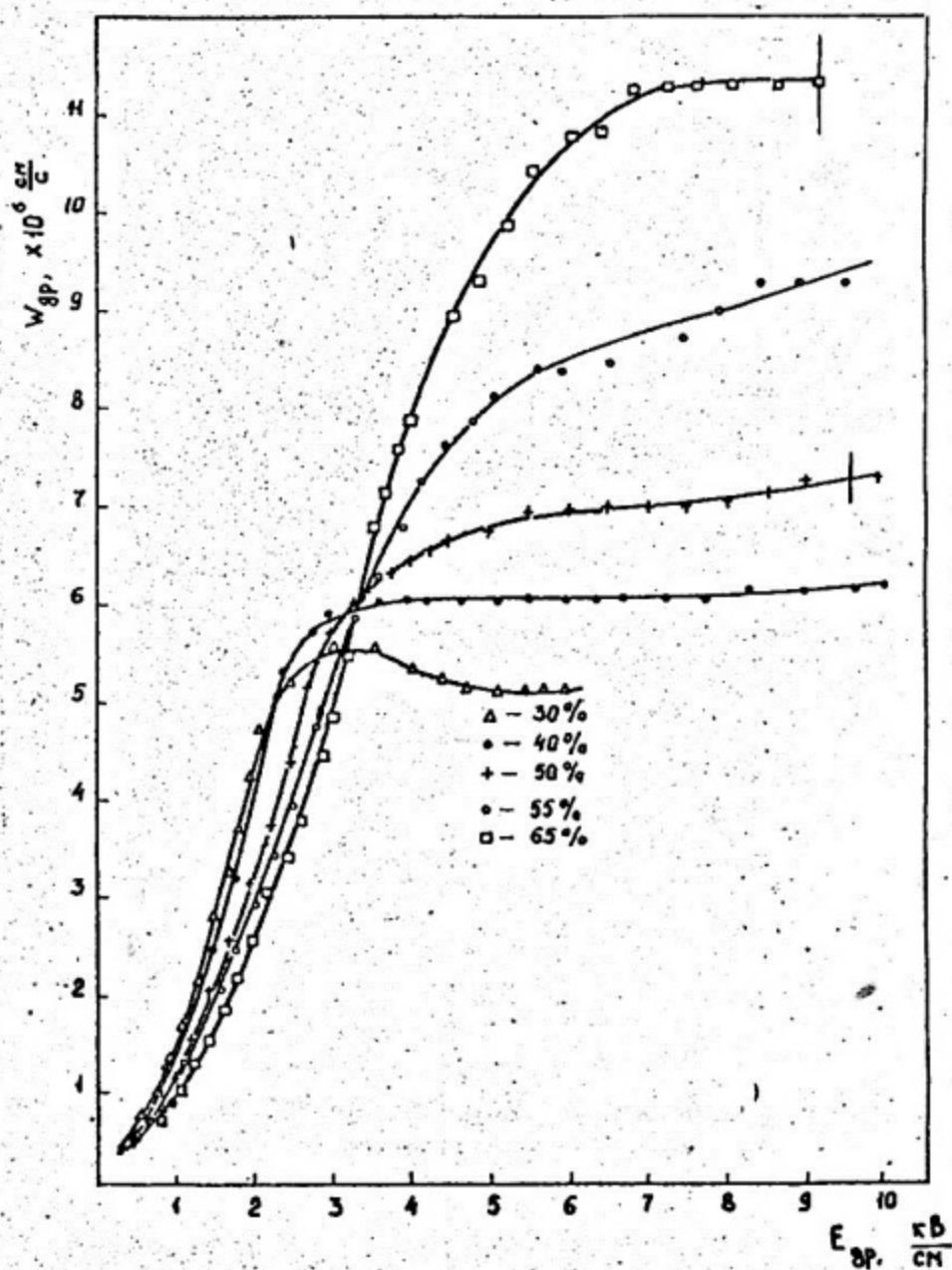


Рис.2. Зависимость скорости дрейфа от напряженности электрического поля в смесях Хе + CO₂

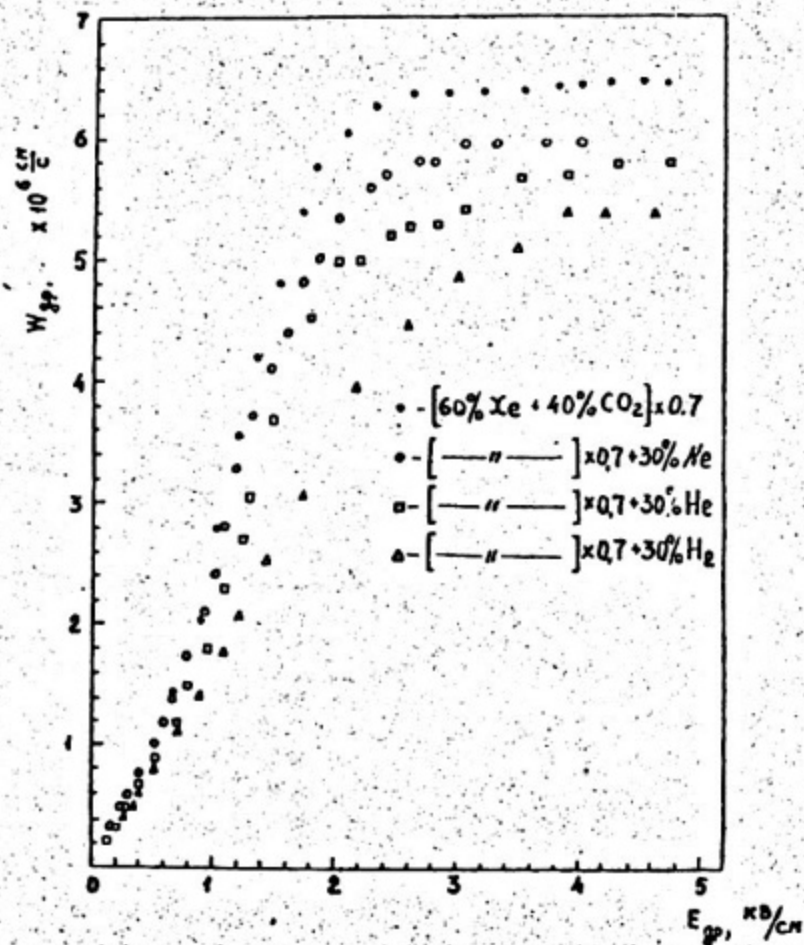


Рис. 3. Зависимость скорости дрейфа электронов от напряженности электрического поля для смесей Xe+CO₂ с добавками He, H₂, Ne

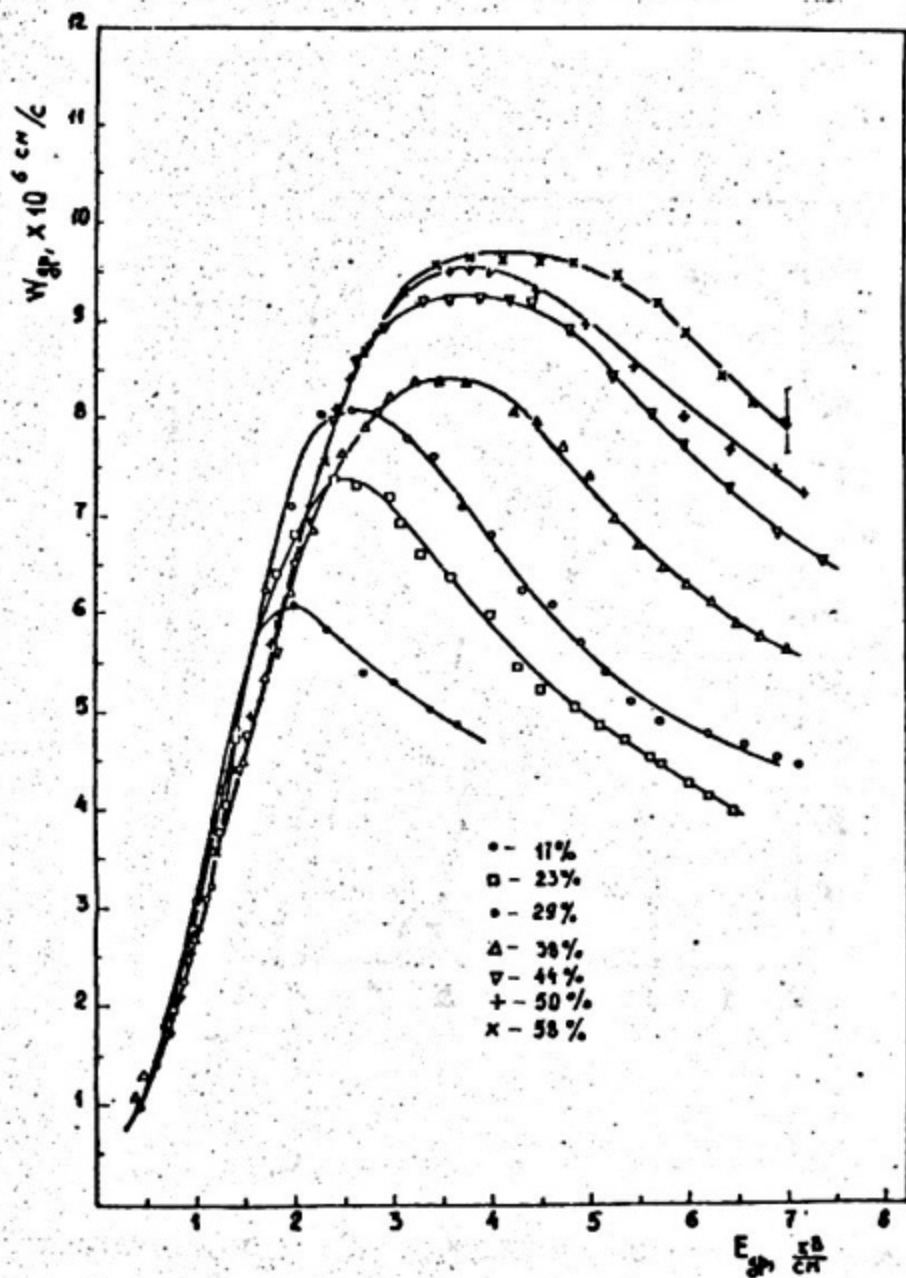


Рис. 4. Зависимость скорости дрейфа электронов от напряженности электрического поля в смеси Xe+CF₄

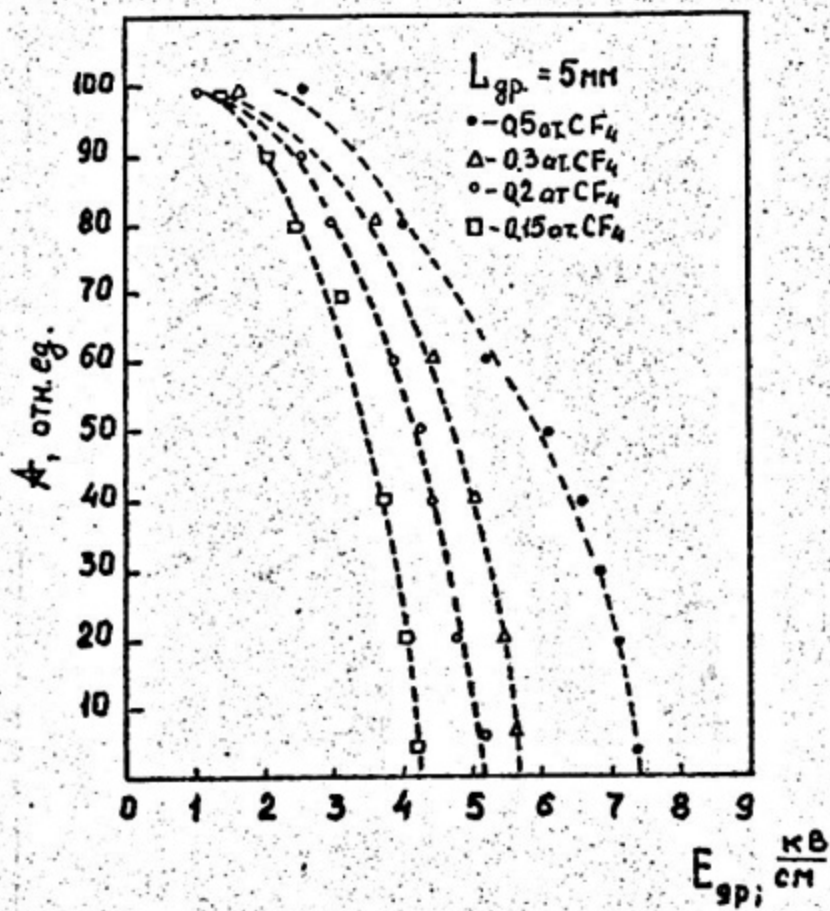


Рис.5. Зависимость амплитуды сигнала с фотокатода от напряженности дрейфового поля для различных парциальных давлений CF_4 в смеси с Хе, полное давление смеси - 1 атмосфера

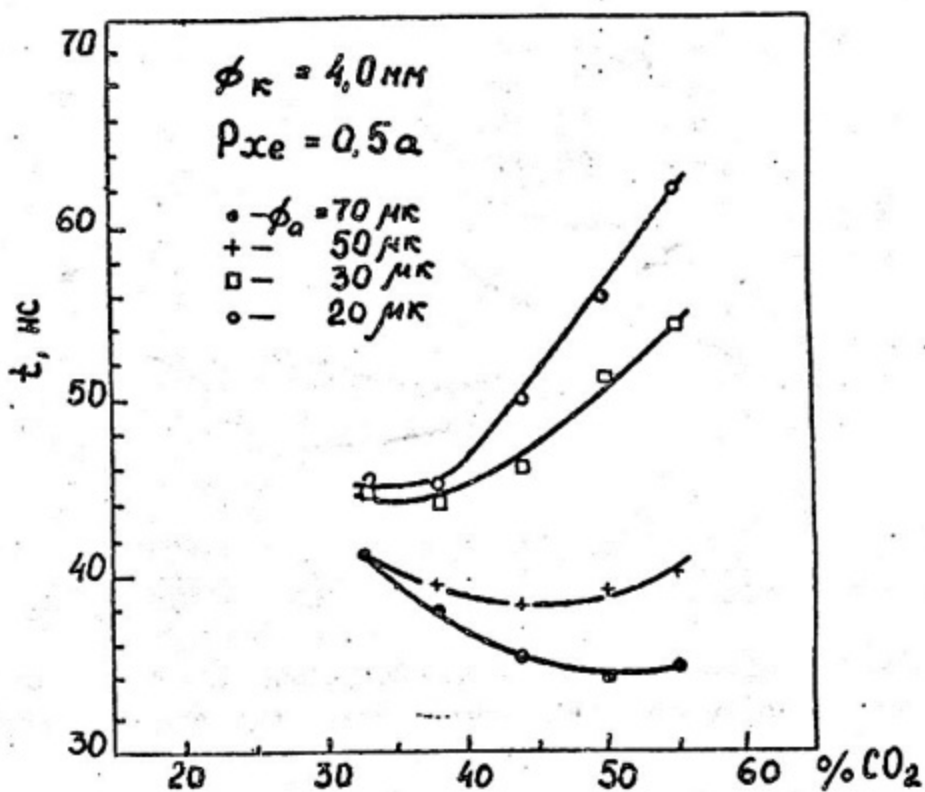


Рис. 6а. Зависимость времени сообрания электронов от концентрации CO_2 , давление He — 0,5 атм, диаметр катода — 4 мм.

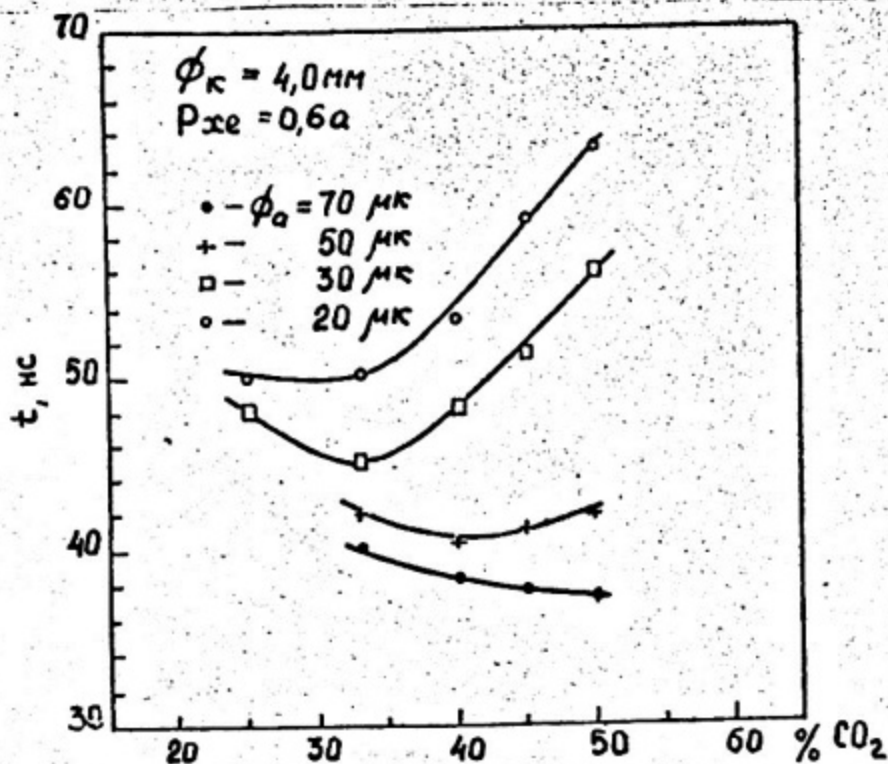


Рис. 66. Зависимость времени сообрания электронов от концентрации CO₂, давление Хе - 0,6 атм, диаметр катода - 4,0 мм

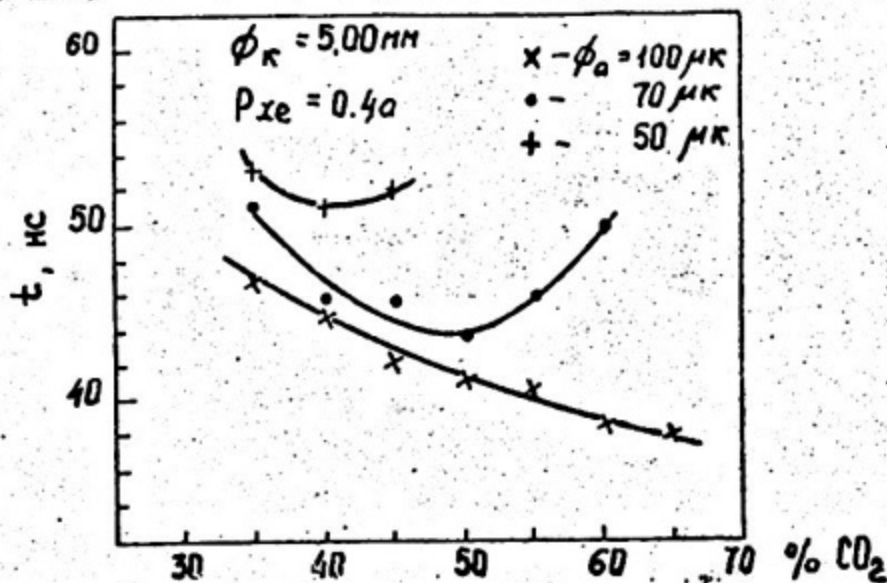


Рис. 66. Зависимость времени сообрания электронов от концентрации CO₂, давление Хе - 0,4 атм, диаметр катода - 5 мм

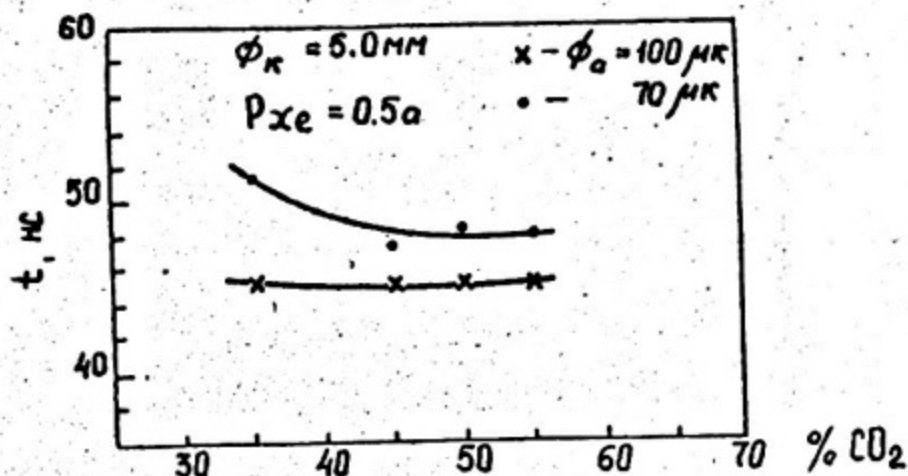


Рис. 6г. Зависимость времени соизрания электронов от концентрации CO₂, давление Xe - 0,5 атм, диаметр катода - 5 мм

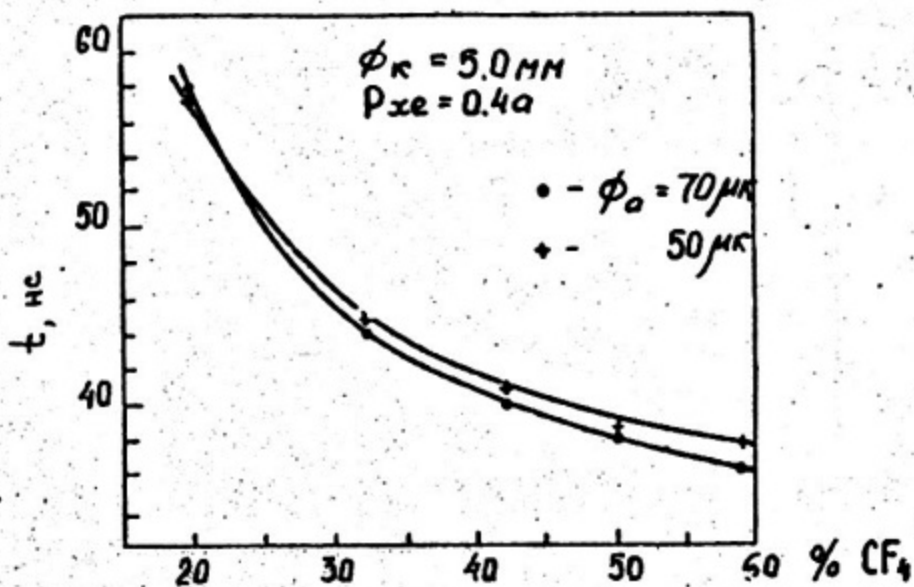


Рис. 6д. Зависимость времени соизрания электронов от концентрации CF₄, давление Xe - 0,4 атм, диаметр катода - 5 мм

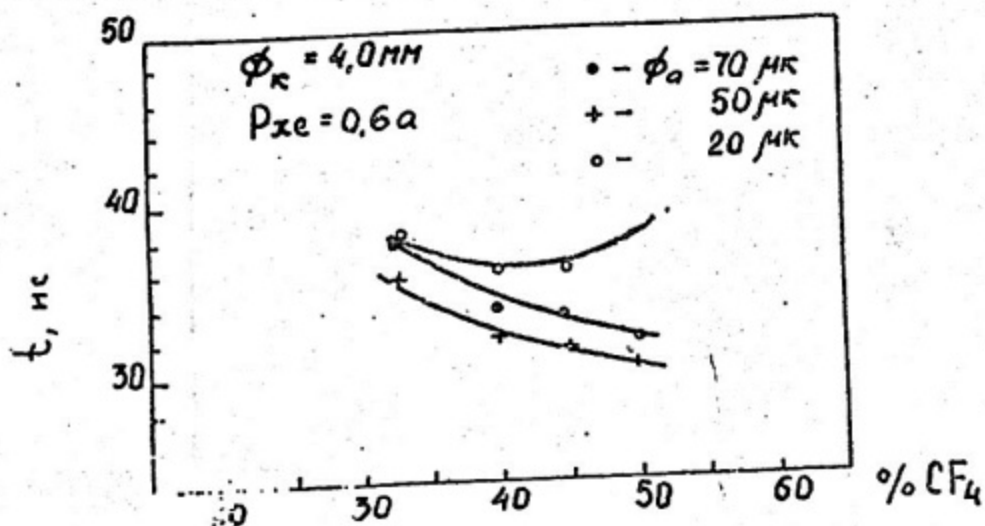


Рис. 6е. Зависимость времени соириания электронов от концентрации CF_4 , давление Xe - 0,6 атм, диаметр катода - 4 мм

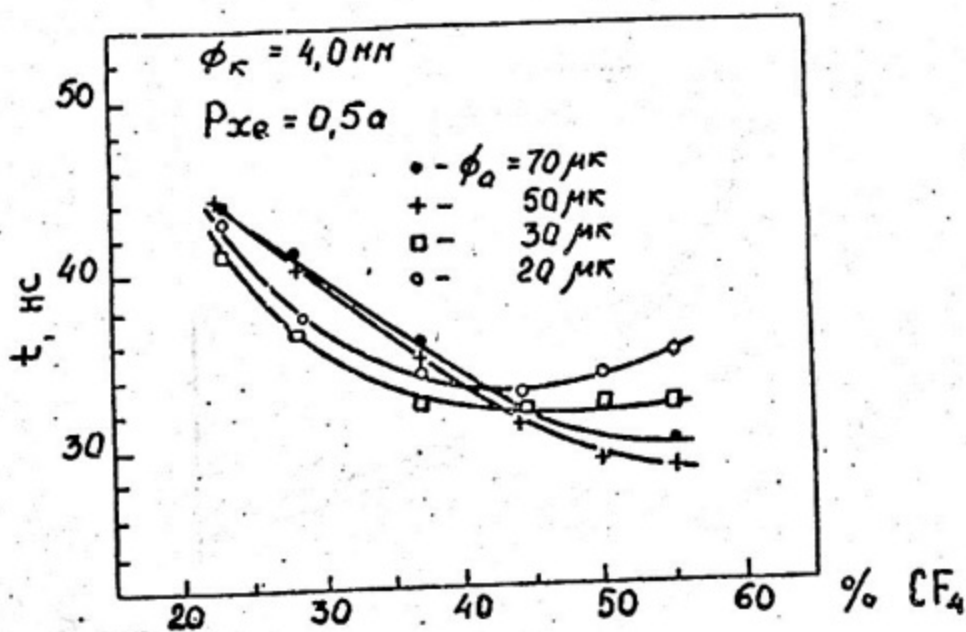


Рис. 6ж. Зависимость времени соириания электронов от концентрации CF_4 , давление Xe - 0,5 атм, диаметр катода - 4 мм

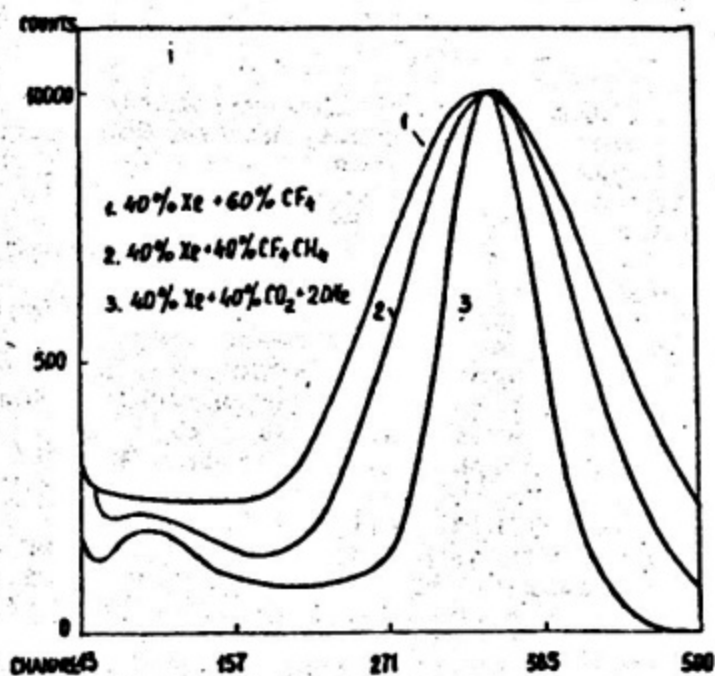


Рис. 7. Амплитудные спектры в цилиндрическом ПС для различных "острых" смесей на основе Хе

Список литературы

1. R.Desalvo, Proc. 1986 Summer Study on the Physics of the Superconducting Supercollider, Snowmass, 1986 (DPF American Physical Society, N.-Y., 1986), p.391.
2. T.Akesson, C.W.Fabian, P.Sauli et al. The feasibility of experiments at high luminosity at the large hadron collider, ed. by J.Mulvey, CERN 88-02, Geneva, 1988, p.31.
3. M.Marx, An alternative approach to a high pt SSC experiment. SSC/CDG Ph.Dep. and SUNY, Stony Brook, SSC-219, 1989.
4. ECFA Study Week on Instrumentation and Technology for High-Luminosity Hadron Colliders. CERN 89-10, ECFA 89-124, 1989.
5. А.Г.Храпак, И.Г. Якубов. Электроны в плотных газах и плазме. М.: Наука, 1981, с.1981
6. Л.Хаксли, Р.Кремpton. Диффузия и дрейф электронов в газах. М.: Мир, 1977, с. 621
7. F.Sauly. Principles of operation of multiwire proportional chambers. CERN 77-09, 1977
8. В.П.Коновалов, В.В.Сосновцев, А.В.Сумароков и др. в сборнике "Элементарные частицы и атомное ядро", М.: Энергоатомиздат, 1986, с. 20.
9. L.G.Christophorou, D.V.Maxey, D.L.McCorkle et al., NIM, v.171, 1980, p.491.
10. J.Vavra. NIM, v.A252, 1986, p.547.
11. R.Henderson, R.Openshow, W.Faszler et al. IEEE Transactions on Nuclear Science. v.NS-35, p.477.
12. L.G.Christophorou, D.V.Maxey, D.L.McCorkle et al., NIM, v.163, 1979, p.141.