



Сибирское отделение Российской Академии наук
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им.Г.И. Будкера

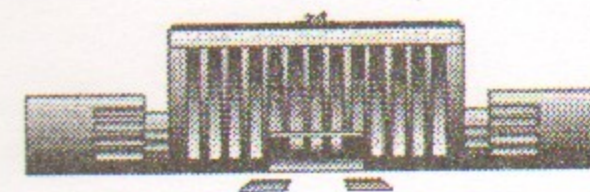
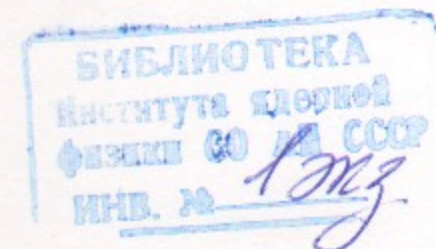
*Б.27
1999*

П.Н. Евтушенко, А.И. Рогозин, Ю.А. Тихонов

ПРОСТОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ
СКОРОСТИ ДРЕЙФА И ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ
ЭЛЕКТРОНОВ В ГАЗООБРАЗНОМ
И КОНДЕНСИРОВАННОМ КРИПТОНЕ

ИЯФ 99-3

<http://www.inp.nsk.su/publications>



НОВОСИБИРСК

1999

✓

Сибирское отделение Российской Академии наук
Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера

П.Н. Евтушенко, А.И. Рогозин, Ю.А. Тихонов

ПРОСТОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ДРЕЙФА
И ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ЭЛЕКТРОНОВ В ГАЗООБРАЗНОМ
И КОНДЕНСИРОВАННОМ КРИПТОНЕ

ИЯФ 99-3

Новосибирск
1999

Simple Method for Measurements of Drift Velocity and Lifetime of Electrons in Gaseous and Liquid Krypton

P.N.Evtushenko, A.I.Rogozin, Yu.A.Tikhonov

Budker Institute of Nuclear Physics
630090, Novosibirsk, Russia

Abstract

New method for measurements of drift velocity V_{Dr} and lifetime τ of electrons in gaseous and liquid krypton is presented. The principle of the monitoring system is based on the usage of short pulse gas-discharge radiating soft X-ray. Electron lifetime has been determined from the attenuation of a current due to an electron cloud photoproduced by this radiation and moved in an electric field. The drift velocity has been found from the current pulse duration. Monitoring system reported here was used to measure the electric field dependences of V_{Dr} and τ .

E-mail: rogozin@inp.nsk.su

1. Введение

Благородные газы в газообразном и сжиженном состоянии широко используются в качестве рабочей среды в детекторах элементарных частиц [1-3]. На многих современных ускорителях действуют или создаются спектрометры полного поглощения (электромагнитные калориметры) на сжиженных благородных газах [4,5]. В аких калориметрах частицы передают свою энергию атомам среды, ионизируя и возбуждая их. Электроны и ионы, образованные в результате ионизации, дрейфуют в электрическом поле и собираются на сигнальные электроды. Основной вклад в сигнал дают электроны, так как они обладают значительно большей подвижностью по сравнению с ионами. Скорость дрейфа электронов V_d и их время жизни τ в рабочей среде определяют основные характеристики детекторов — временное, координатное и энергетическое разрешение.

Хорошо известно, что примеси различных углеводородов, кислорода, хлора и многих других веществ могут существенно изменять характеристики рабочей среды [6]. Как правило, чистота благородных газов, производимых промышленностью, оказывается недостаточной для того, чтобы использовать их в качестве рабочей среды детекторов. Поэтому перед заполнением детектора газ тщательно очищают от примесей. Кроме того, даже при сжижении достаточно чистого газа примеси могут поступать в него из конструкционных материалов детектора.

Таким образом, в процессе эксплуатации детекторов необходимо знание скорости дрейфа электронов и их времени жизни в рабочей среде и, следовательно, актуальна разработка простых и оперативных методов их контроля.

Авторам известны следующие методы измерения характеристик рабочих сред детекторов на основе благородных газов. Во-первых, это метод определения V_d и τ по сигналу ионизационной камеры (ИК), регистрирующей частицы от радиоактивного источника, размещенного в ней [7]. В некоторых случаях для этой цели используются частицы космического излучения, так в работе [8] использовался сигнал от космических мюонов. Недостатком метода является то, что амплитуды регистрируемых сигналов оказываются невелики, а отношение полезного сигнала к шуму мало,

поэтому часто не удается провести оперативные измерения с желаемой точностью.

В работе [9] предложен метод измерения, основанный на облучении ИК, заполненной сжиженным газом, короткими импульсами рентгеновского излучения с энергией квантов ≈ 30 кэВ через тонкое окно в дне камеры. Использование данного метода в крупномасштабных установках, по-видимому, затруднительно.

Авторами работ [10,11] использовался метод, основанный на использовании ультрафиолетового лазера. Импульс ультрафиолетового излучения длительностью несколько наносекунд, генерируемый мощным газоразрядным лазером, через кварцевый световод вводился в криогенный сосуд со сжиженным аргоном (криптоном) и попадал на пластину ионизационной камеры. Фотоэлектроны, вырывающиеся из этой пластины излучением лазера, давали значительный сигнал, который позволял с высокой точностью измерять скорость дрейфа и время жизни электронов в сжиженном газе. К недостаткам метода следует отнести то, что лазер имеет высокую стоимость, а кроме того, его излучение необходимо вводить в криогенный сосуд, что сопряжено с определенными техническими сложностями.

Цель настоящей работы состояла в разработке простого и эффективного метода оперативного определения характеристик рабочих сред детекторов на основе газообразных и сжиженных благородных газов, свободного от недостатков методов, перечисленных выше. Идея основана на использовании ионизационной камеры с источником излучения, которое возникает при электрическом разряде в благородном газе между двумя электродами при подаче на них короткого импульса высокого напряжения.

Предполагается, что разработанный прибор найдет следующие применения на криптоновом калориметре детектора КЕДР [2]: во-первых, для контроля чистоты газообразного криптона в баллонах перед сжижением газа в хранилище; во-вторых, для контроля параметров сжиженного криптона в процессе его очистки от электроотрицательных примесей. Разместить прибор непосредственно в калориметре с целью определения физических параметров рабочей среды детектора в процессе экспериментов в настоящее время не представляется возможным, так как его сборка и герметизация уже завершены.

2. Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки приведена на рис.1. Она состоит из цилиндрической камеры 1 с фланцем 2, на котором закреплена ионизационная камера с электродами 3 и 4, имеющими диаметр 110 мм. Расстояние между электродами могло варьироваться путем перемещения электрода 4 вдоль керамических стержней 5. В центре верхнего фланца расположен разрядный узел, изготовленный на основе герметичного разъема. На его вводах смонтированы два электрода, между которыми происходит газовый разряд длительностью $1+5$ нс при подаче на них им-

пульсов высокого напряжения от специального генератора. Оба электрода изготовлены из вольфрама $\varnothing 1$ мм. Катод имеет форму острия, а анод — усеченного цилиндра. Зазор между электродами равен 0.1 мм. Разрядный узел имеет цилиндрический экран 6, выходное отверстие которого затянуто вольфрамовой сеткой с ячейками 0.1×0.1 мм и прозрачностью около 80%. Экран служит для коллимации излучения и существенно ослабляет электромагнитные помехи от разряда на нижний сигнальный электрод ИК.

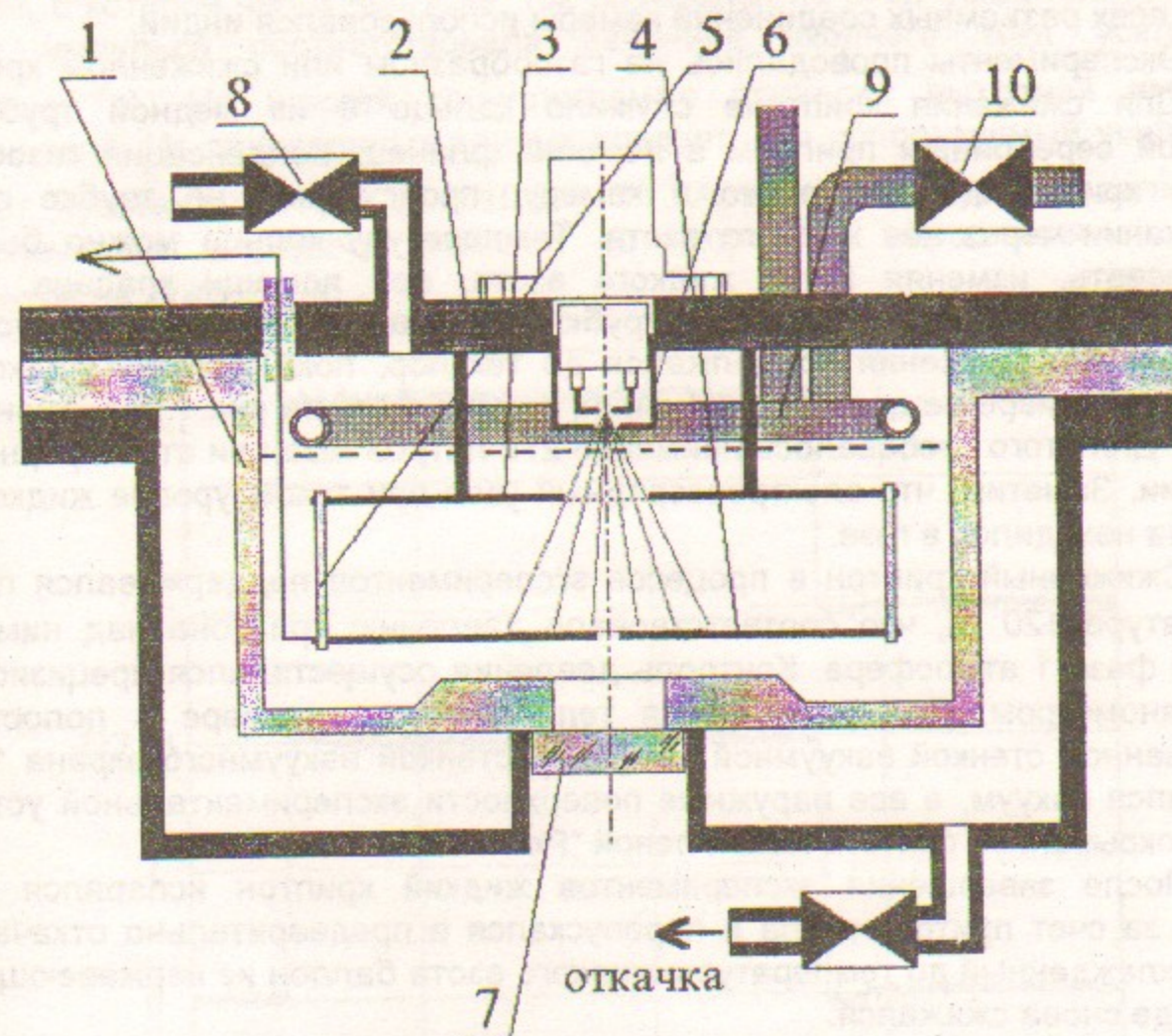


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 - камера; 2 - фланец; 3 - заземленный электрод; 4 - сигнальный электрод; 5 - керамические стержни; 6 - экран разрядного узла; 7 - сапфировое окно; 8 - трубка с клапаном для откачки и напуска криптона; 9 - кольцо из медной трубки; 10 - клапан для регулировки потока жидкого азота.

Коллимированное излучение разряда попадает на сигнальный электрод через отверстие в верхнем электроде, которое также закрыто сеткой. Этот электрод был заземлен и являлся еще одним экраном между источником излучения и сигнальным электродом, на который через резистор подавалось напряжение смещения, а через разделительный конденсатор снимался сигнал на усилитель тока. Сигнал тока, регистрируемый усилителем, возникал из-за дрейфа в электрическом поле между электродами ИК электронов, выбитых из поверхности сигнального электрода

излучением разряда за счет фотоэффекта. В качестве фотокатода использовался диск $\varnothing 30$ мм из чистого магния (работа выхода ≈ 3.5 эВ) или из никеля (работа выхода ≈ 5 эВ), которые запрессовывались в сигнальный электрод. В центре диска имелось отверстие $\varnothing 1.5$ мм, позволяющее наблюдать свет из разрядного промежутка через сапфировое окно 7 в дне камеры.

Вакуумная откачка камеры и последующая подача газа в нее производилась через трубку с клапаном 8 на верхнем фланце. В качестве уплотнителя всех разъемных соединений камеры использовался индий.

Эксперименты проводились на газообразном или сжиженном криптоне. Для сжижения криптона служило кольцо 9 из медной трубки, впаянной серебряным припоем в верхний фланец. Конденсация газообразного криптона, подаваемого в камеру, происходила на трубке при пропускании через нее жидкого азота. Температуру кольца можно было регулировать, изменяя поток жидкого азота, при помощи клапана 10, установленного на выходном конце трубки. Подача газообразного криптона и процесс его сжижения продолжался до тех пор, пока уровень жидкого криптона в камере не достигал значения, отмеченного на рис. 1. пунктирной линией. Для этого требовалось примерно 270 литров газа при атмосферном давлении. Заметим, что электроразрядный узел при таком уровне жидкого криптона находился в газе.

Сжиженный криптон в процессе экспериментов поддерживался при температуре 120 °К, что соответствовало давлению криптона над ним в газовой фазе 1 атмосфера. Контроль давления осуществлялся прецизионным манометром. Для уменьшения теплопритока к камере в полости, образованной стенкой вакуумной камеры и стенкой вакуумного экрана 10, создавался вакуум, а все наружные поверхности экспериментальной установки покрывались синтетической пеной "Penoflex".

После завершения экспериментов жидкий криптон испарялся из камеры за счет притока тепла и перепускался в предварительно откачанный и охлажденный до температуры жидкого азота баллон из нержавеющей стали, где снова сжижался.

Генератор для питания электроразрядного узла на диодах с накоплением заряда [12] позволял получать последовательность импульсов длительностью 1 нс или 5 нс с амплитудой ≤ 6 кВ на нагрузке 50 ом, при частоте следования импульсов 50 Гц. Электроразрядный узел соединялся с генератором кабелем с волновым сопротивлением 50 ом. Генератор и усилитель тока, регистрирующий сигнал, были тщательно экранированы и имели LC фильтры в цепях питания. Эти меры совместно с описанными выше по электростатическому экранированию сигнального электрода ИК позволили работать практически без помех от разряда. Для регистрации сигналов использовался цифровой осциллограф TEKTRONIX TDS 360.

3. Экспериментальные результаты

3.1. Вводные замечания

На рис. 2. приведены результаты калибровки усилителя тока, который использовался для регистрации импульсов тока с сигнального электрода ИК. На верхней осциллограмме показан входной импульс на нагрузке 50 ом, с которой через 400 кОм, ток подавался на вход усилителя. Амплитуда импульса соответствовала величине входного тока усилителя 4.125×10^{-6} А. На нижней осциллограмме приведен выходной импульс усилителя. Из приведенных данных следует, что используемый усилитель имеет чувствительность $(2.06 \pm 0.01) 10^{-9}$ А/мВ по выходному сигналу и обеспечивает передачу сигналов со скоростью нарастания и спада фронтов не хуже 0.2 мс.

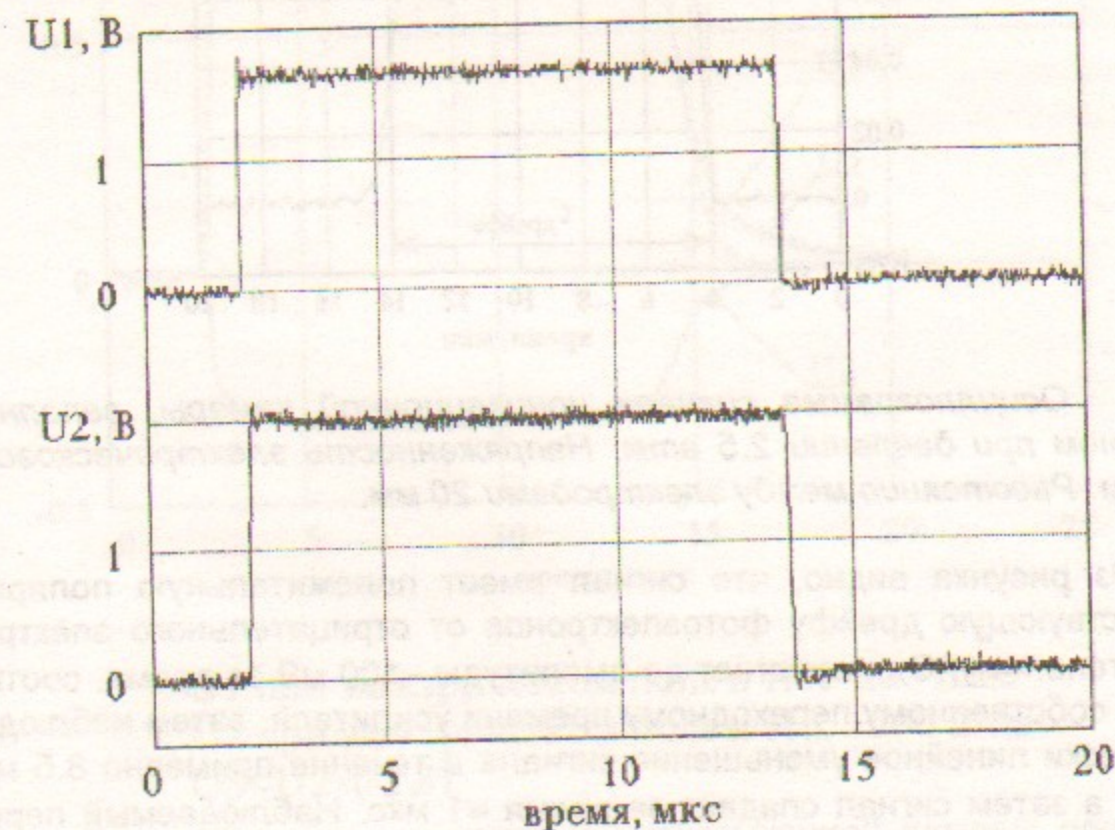


Рис. 2. Осциллограммы калибровки усилителя тока. U1-сигнал на входе усилителя, U2-сигнал на выходе усилителя

3.2. Результаты опытов с газообразным криптоном

После откачки камеры форвакуумным насосом через азотную ловушку до давления $\leq 10^{-1}$ Па, она заполнялась до давления 0.5 ÷ 2.5 атм промышленным криптоном из баллона без предварительной очистки. При помощи фотоумножителя с гибким световодом, подсоединенным к окну 6 (см. рис.1) в дне камеры, была определена в видимом диапазоне

длительность светового импульса, излучаемая электроразрядным узлом, при подаче на него от генератора импульсов длительностью 5 нс. Оказалось, что длительность светового импульса примерно равна длительности импульсов генератора. Следовательно, фотоэлектроны, вырванные излучением из сигнальной пластины, за это время могут прорейфовать в электрическом поле 1000 В/см на расстояние около 10 мкм, что значительно меньше расстояния между электродами ионизационной камеры.

На рис.3 приведена осциллограмма выходного сигнала усилителя, регистрирующего ток ионизационной камеры, при давлении криптона 2.5 атм и величине электрического поля 300 В/см.

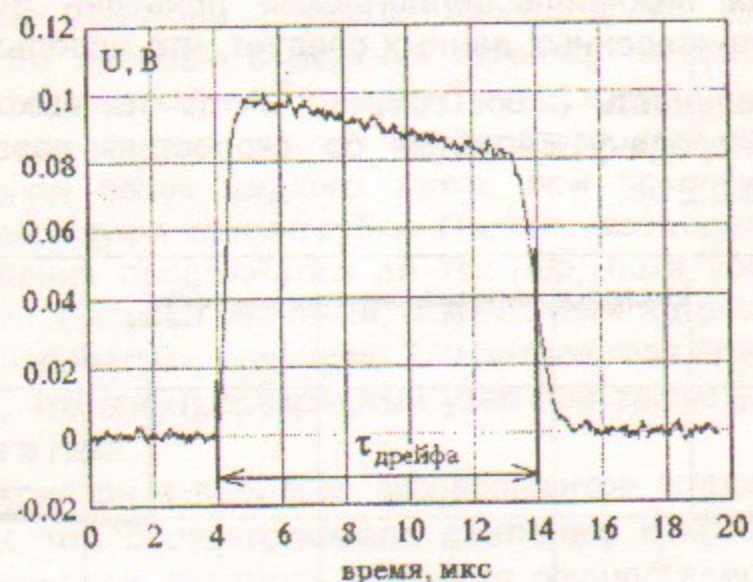
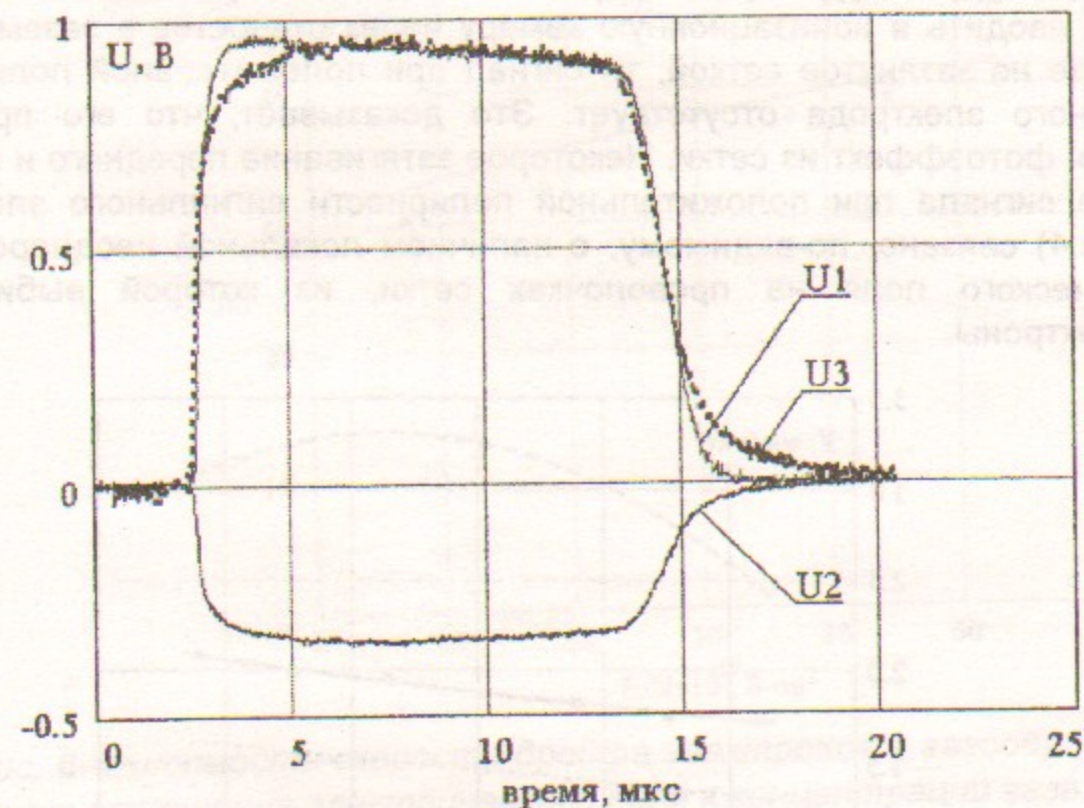


Рис. 3. Осциллограмма сигнала ионизационной камеры, заполненной криптоном при давлении 2.5 атм. Напряженность электрического поля 300 В/см. Расстояние между электродами 20 мм.

Из рисунка видно, что сигнал имеет положительную полярность, соответствующую дрейфу фотоэлектронов от отрицательного электрода к положительному. Он нарастает до амплитуды ~100 мВ за время, соответствующее собственному переходному времени усилителя, затем наблюдается практически линейное уменьшение сигнала в течение примерно 8.5 мкс до ~80 мВ, а затем сигнал спадает за время ≈1 мкс. Наблюдаемый передний фронт сигнала подтверждает тот факт, что фотоэлектроны вырываются излучением разряда из электрода в течение времени, значительно меньшего, чем переходное время усилителя. Сравнительно длительный задний фронт сигнала можно объяснить тем, что слой фотоэлектронов, имеющий начальную толщину равную произведению скорости дрейфа электронов на длительность излучения ($\approx 0.2 \text{ см/мкс} \times 5 \cdot 10^{-3} \text{ мкс} = 10^{-3} \text{ см}$), становится толще из-за диффузии электронов за время дрейфа в криптоне. По амплитуде сигнала было вычислено полное число электронов, вырывающееся из фото-катода излучением. От разряда к разряду оно не остается постоянным, а флуктуирует, изменяясь в несколько раз. Максимальное значение числа фотоэлектронов в одном импульсе в наших опытах

достигало $\approx 15 \cdot 10^7$ для разряда в криптоне при давлении 2.5 атм и длительности импульса генератора 1 нс. При изменении давления от 2.5 атм до 1 атм максимальное число электронов уменьшается примерно на 15%, то есть не прямо пропорционально давлению. Этот факт указывает на то, что электроны образуются за счет фотоэффекта из поверхности сигнального электрода, а количество электронов, образованных излучением разряда в объеме газа между электродами ионизационной камеры, мало. Заметим, что при увеличении длительности импульса генератора, питающего разряд, от 1 нс до 5 нс амплитуда сигнала увеличилась примерно в 5 раз и достигала почти 10^8 фотоэлектронов.



- U1 при электрическом поле в ИК -200 В/см
- U2 при электрическом поле в ИК +200 В/см
- U3=U2·(-2.8)

Рис. 4. Осциллограммы сигналов с ионизационной камеры при разной полярности сигнального электрода.

При положительной полярности сигнального электрода электронная эмиссия из фотокатода подавлена и мы предполагали зарегистрировать выходной сигнал ионизационной камеры, обусловленный электронами, возникающими в объеме камеры за счет ионизации криптона излучением разряда. Так как электрическое поле в ионизационной камере при этом изменяет направление, то полярность сигнала также должна измениться. Оказалось, что в этом случае сигнал действительно изменил полярность, его амплитуда стала примерно в три раза меньше, но форма сигнала практически не изменилась. Для иллюстрации на рис.4 приведены сигналы,

полученные при отрицательной и положительной полярности сигнального электрода. Пунктирная линия соответствует отрицательному сигналу с инвертированной полярностью и амплитудой, нормированной на амплитуду положительного сигнала. Приведенные данные позволяют заключить, что сигнал при положительной полярности сигнального электрода не может быть объяснен ионизацией криптона в объеме между пластинами ионизационной камеры и соответствует дрейфу слоя электронов от поверхности заземленного электрода к положительному электроду. Очевидно, что только в этом случае при одинаковой напряженности электрического поля в ионизационной камере сигналы при разной полярности сигнального электрода будут подобны по форме. Если коллимированное излучение разряда вводить в ионизационную камеру через отверстие в заземленном электроде не затянутое сеткой, то сигнал при положительной полярности сигнального электрода отсутствует. Это доказывает, что его причиной является фотоэффект из сетки. Некоторое затягивание переднего и заднего фронтов сигнала при положительной полярности сигнального электрода (см. рис.4) связано, по-видимому, с наличием локальной неоднородности электрического поля на проволочках сетки, из которой выбиваются фотоэлектроны.

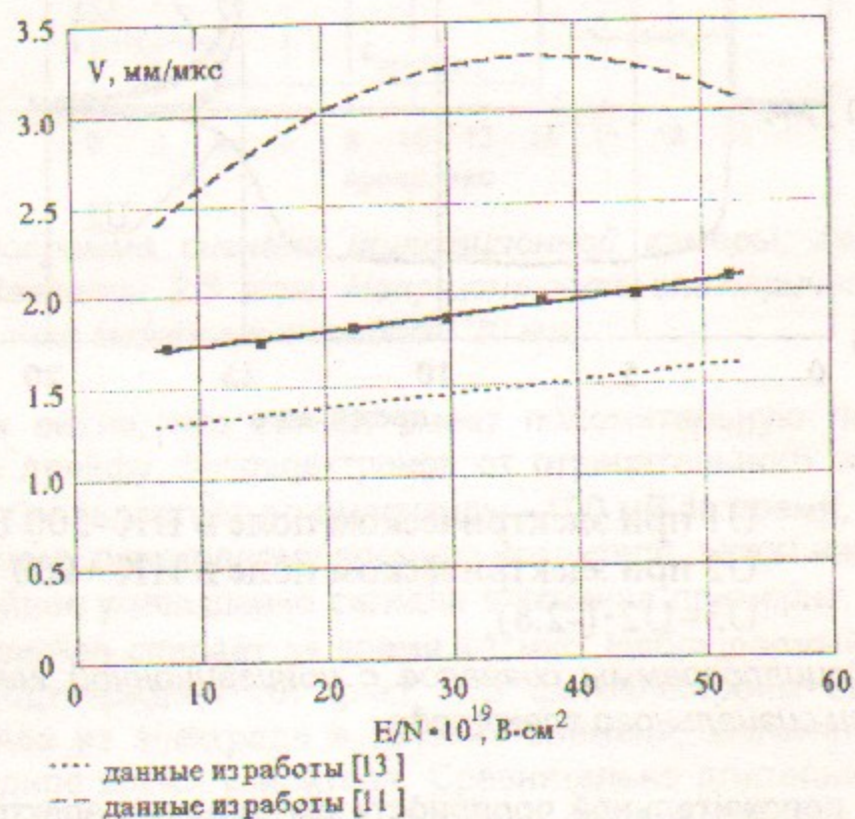


Рис. 5. Зависимость времени жизни электронов в газообразном криптоне от отношения электрического поля к концентрации газа. $P=2.5$ атм.

По спаду вершины импульса и длительности сигналов в серии измерений были определены в зависимости от величины электрического поля время жизни электронов в криптоне (рис.5) и средняя скорость дрейфа (рис.6). Для определения времени жизни электронов в криптоне

спадающий участок сигнала с ионизационной камеры сопоставлялся с экспоненциальной функцией. Для оптимизации соответствия параметров экспоненты экспериментальным данным использовался критерий χ^2 . Время дрейфа электронов необходимое для вычисления средней скорости дрейфа между электродами определялось как время между началом сигнала и точкой максимума производной сигнала на заднем фронте (см. рис.3).

Из рис.5 видно, что для данного образца газа время жизни электронов в криптоне незначительно возрастает при увеличении электрического поля от 50 до 350 В/см.

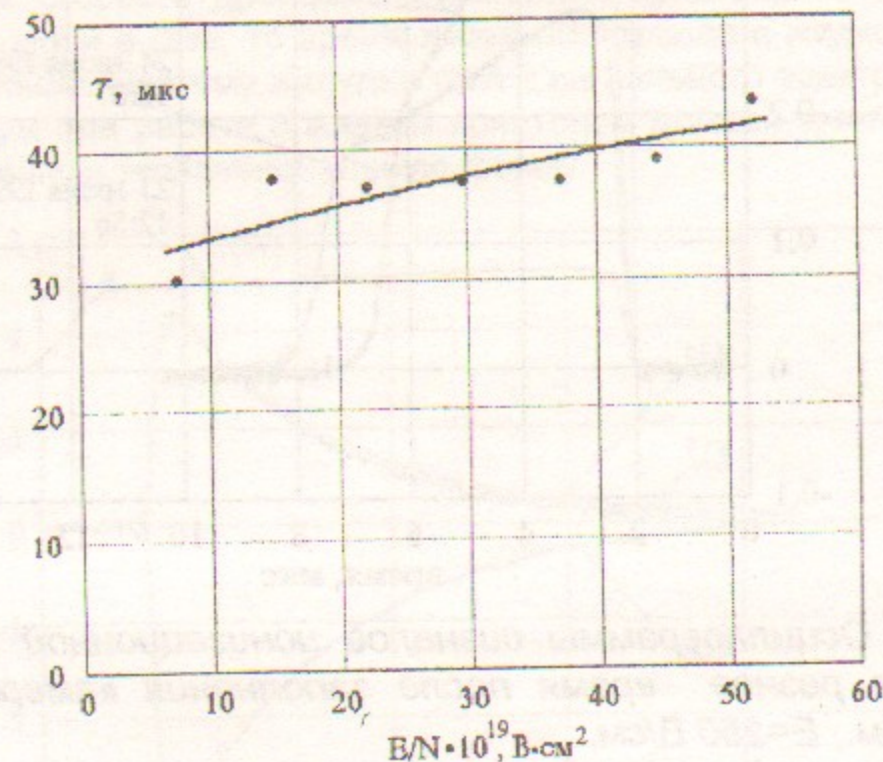


Рис. 6. Зависимость скорости дрейфа электронов в газообразном криптоне от отношения электрического поля к концентрации газа. $P=2.5$ атм.

На рис.6 вместе с данными, полученными нами для дрейфовой скорости, приведены для сопоставления результаты, взятые из работ [11,13]. Заметим, что такое сопоставление носит чисто методический характер, так как известно, что свойства криптона существенно зависят от содержащихся в нем примесей. Для иллюстрации на рис.7 приведены сигналы, полученные в разное время после заполнения камеры криптоном, при одном и том же давлении и одинаковой величине электрического поля. Из осциллограмм хорошо видно, что со временем происходят изменения как скорости дрейфа электронов в криптоне, так и времени их жизни. За первые сутки дрейфовая скорость электронов увеличилась почти в два раза, а время жизни уменьшилось примерно в пять раз. Далее процесс изменений свойств криптона проходил более медленно. Наблюдаемое изменение свойств криптона связано с поступлением в криптон примесей из конструктивных материалов установки, хотя ее детали перед сборкой были

обезгажены в вакууме при температуре 400 °С и сборка велась в соответствии с требованиями вакуумной гигиены

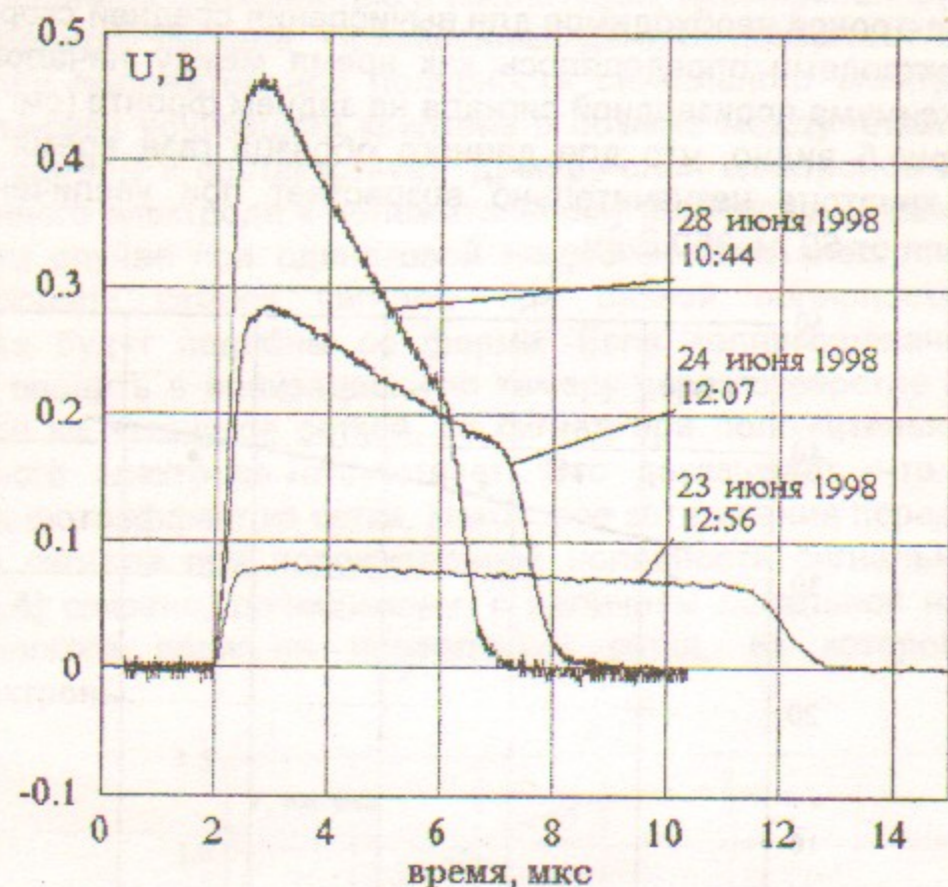


Рис. 7. Осциллограммы сигналов ионизационной камеры, полученные в разное время после заполнения камеры криптоном. $P=2.5$ атм., $E=250$ В/см.

Как уже сообщалось, в первых опытах с газообразным криптоном в качестве материала фотокатода в ИК использовался магний, так как из доступных металлов он слабо окисляется на воздухе и имеет сравнительно низкую работу выхода 3.64 эВ, что соответствует длине волны 341 нм. Для того чтобы получить сведения о влиянии материала фотокатода на величину сигнала были проделаны измерения, при которых в качестве фотокатода использовался никель. Порог внешнего фотоэффекта составляет для никеля 246 нм. Опыты показали, что с фотокатодом из никеля сигнал по амплитуде остался примерно таким же, как и с фотокатодом из магния. Возможно, что для "грязного" фотокатода работа выхода определяется в основном не его материалом, а адсорбированными поверхностью газами. Другое объяснение состоит в том, что энергия квантов, излучаемых разрядом, больше, чем работа выхода для никеля. В дополнительных опытах было установлено, что сигнал с ионизационной камеры отсутствует, если отверстие коллиматора разрядного узла, через которое выходит излучение, закрыть кварцевой пластинкой. Это означает, что излучение разряда, ответственное за фотоэффект имеет большую жесткость, чем

нижняя границ пропускания плавленого кварца, которая составляет примерно 6 эВ.

3.3. Результаты опытов со сжиженным криптоном

На основании полученных данных по времени жизни электронов в газообразном криптоме можно сделать вывод, что в нем имеется заметное количество электроотрицательных примесей. Следует ожидать, что при сжижении криптона абсолютная концентрация примесей значительно увеличится. Так как скорость дрейфа в сжиженном криптоме остается примерно такой же, как и в газе, то время жизни электронов в жидкости будет существенно меньше. Поэтому импульс тока с сигнального электрода ионизационной камеры при работе с жидким криптоном должен иметь в наших условиях выраженную экспоненциальную форму.

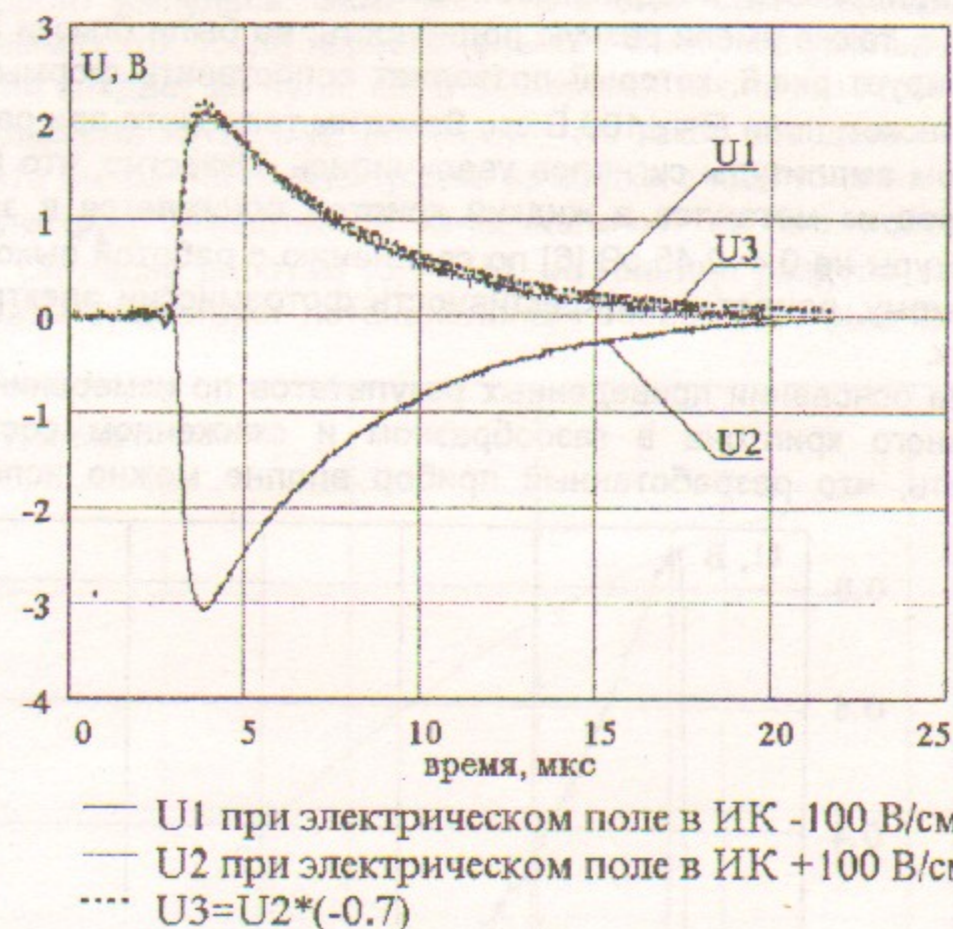


Рис. 8. Осциллограммы сигналов с ионизационной камеры при разной полярности сигнального электрода. Расстояние между пластинами $d=20$ мм.

Эксперименты показали, что действительно форма импульса тока в опытах с жидким криптоном, полученным при сжижении газа из того же баллона, сильно изменилась. После первоначального нарастания тока наблюдался его быстрый экспоненциальный спад, поэтому задний фронт импульса тока, соответствующий приходу электронов на верхний заземленный электрод ИК в результате дрейфа в электрическом поле отчетливо наблю-

дался только при величине электрического поля большей, чем ~ 500 В/см. Поэтому из данных, полученных в первом сжижении криптона, было практически невозможно определить скорость дрейфа электронов в электрическом поле меньше указанной величины.

Найденное из сигналов время жизни электронов слабо зависело от электрического поля и составляло примерно 3 мкс. Время жизни электронов в жидком криптоне упало более чем на порядок по сравнению с временем жизни в газе, но не в соответствии с увеличением концентрации электроотрицательных примесей, ожидаемой при конденсации газа в жидкость. По-видимому, некоторые виды примесей вымерзают (конденсируются на стенках камеры) в процессе сжижения газа или остаются в газообразной фазе.

Отметим, что в экспериментах с жидким криптоном сигналы при разной полярности и одинаковой величине напряжения на сигнальном электроде, также имели разную полярность, но были близки по форме. Это иллюстрирует рис. 8, который позволяет сопоставить формы сигналов при электрическом поле $E = \pm 100$ В/см. Заметим также, что при работе с жидким криптоном амплитуды сигналов увеличились. Известно, что работа выхода электронов из металлов в жидкий криптон понижается в зависимости от температуры на 0.4 ± 0.45 эВ [6] по сравнению с работой выхода в газ и это, по-видимому, влияет на эффективность фотоэмиссии электронов в наших условиях.

На основании приведенных результатов по измерению свойств промышленного криптона в газообразном и сжиженном состоянии можно заключить, что разработанный прибор вполне можно использовать для

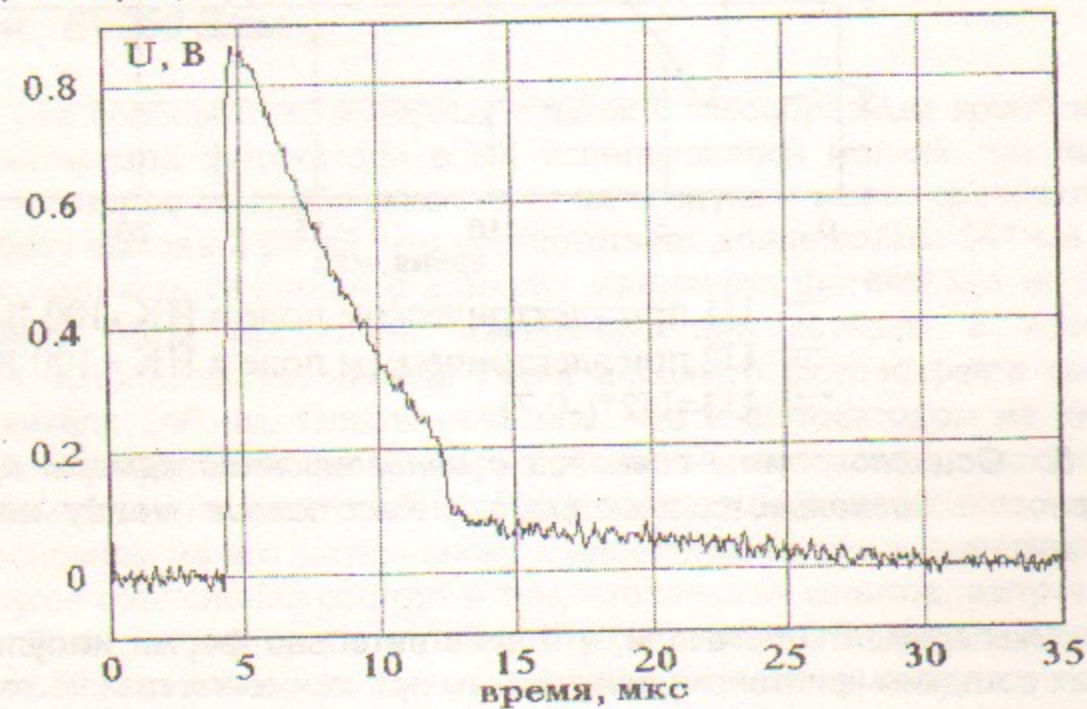


Рис. 9. Осциллограмма сигнала ионизационной камеры, заполненной жидким криптоном. $E = 175$ В/см. Расстояние между пластинами $d=14$ мм.

проверки чистоты газа в баллонах перед его выпуском в хранилище и последующим сжижением.

Следующий опыт с жидким криптоном был проделан, чтобы получить четкий задний фронт сигнала, регистрирующего дрейф электронов между электродами ионизационной камеры, и найти зависимость дрейфовой скорости электронов от напряженности электрического поля. Для этого расстояние между электродами было уменьшено с 20 мм до 14 мм, кроме того, газообразный криптон перед напуском в камеру для сжижения пропускался через картридж с оксисорбом, способным поглощать кислород.

В качестве примера, на рис. 9 представлена одна из осциллограмм импульса тока с сигнального электрода при напряженности электрического поля 175 В/см. Так как время дрейфа электронов между электродами уменьшилось, а их время жизни из-за очистки криптона увеличилось, то на осциллограмме после участка экспоненциального спада тока стал хорошо виден задний фронт импульса. Заметим, что в этой серии измерений на всех осциллограммах ток после первоначального быстрого уменьшения на заднем фронте не спадает до нуля, как в экспериментах на газе (см. Рис. 3), а длится еще примерно 15 ± 20 мкс. Возможно, что такое поведение сигнала связано с тем, что выход части электронов из жидкого криптона на верхний заземленный электрод замедляется из-за наличия на его поверхности пузырьков газа. Согласно работам [6,14,15], на границе раздела жидкой и газообразной фазы существует потенциальный барьер, который препятст-

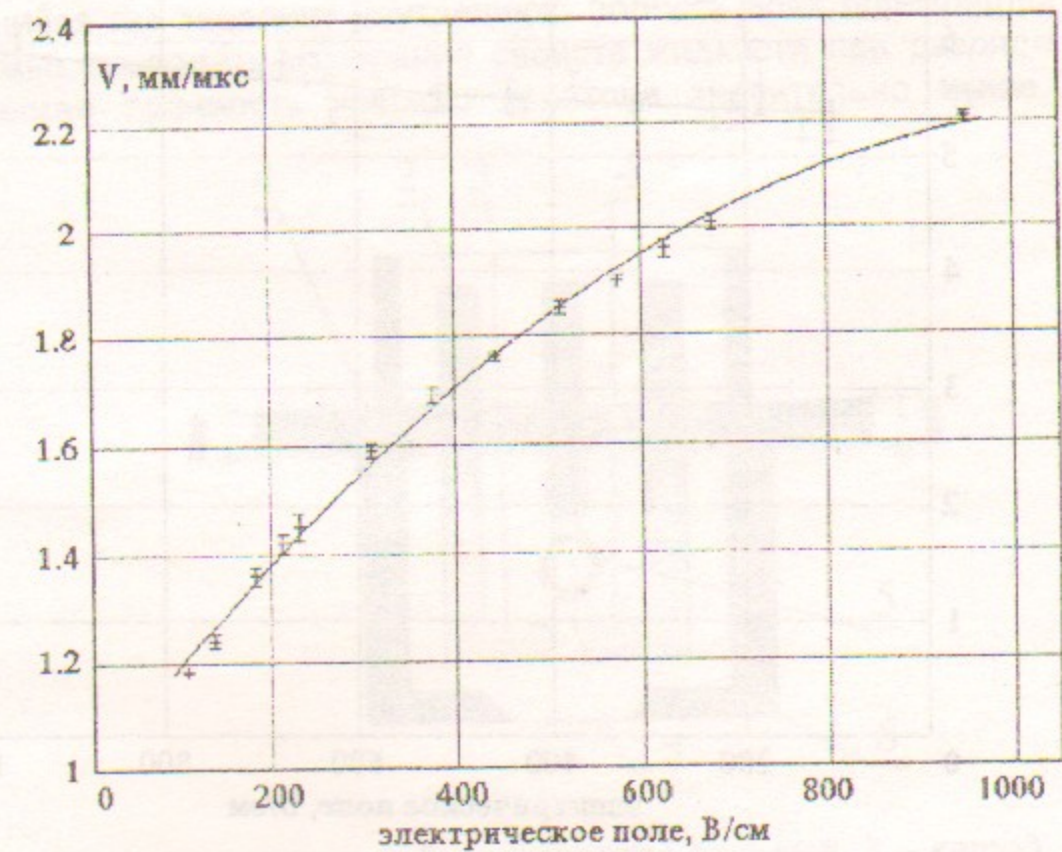


Рис. 10. Зависимость скорости дрейфа электронов в жидком криптоне от напряженности электрического поля. Температура криптона 120 °К.

вует прохождению электронов через границу раздела при напряженности электрического поля меньшей критической. Для криптона критическая напряженность электрического поля равна $E_c=1.6$ кВ/см, тогда как наши измерения проводились в полях $E \leq 1$ кВ/см. При таких полях вероятность эмиссии электронов через границу раздела $\leq 10\%$ [6]. Электроны, не прошедшие границу раздела, эмитируют с большим временем, которое уменьшается с увеличением поля. В нашем случае характерное время спада сигнала в конце импульса уменьшается от 14 мкс до 10 мкс при увеличении электрического поля от 300 В/см до 950 В/см.

На рис.10 показана зависимость дрейфовой скорости электронов в жидком криптоне от напряженности электрического поля. Полученные нами данные находятся в разумном согласии с результатами, приведенными в работе [11].

Время жизни электронов в жидком криптоне зависимости от напряженности электрического поля приведено на рис.11. По сравнению с данными, полученными для промышленного криптона, оно увеличилось примерно в два раза вследствие пропускания газа через картридж с оксисорбом перед его сжижением.

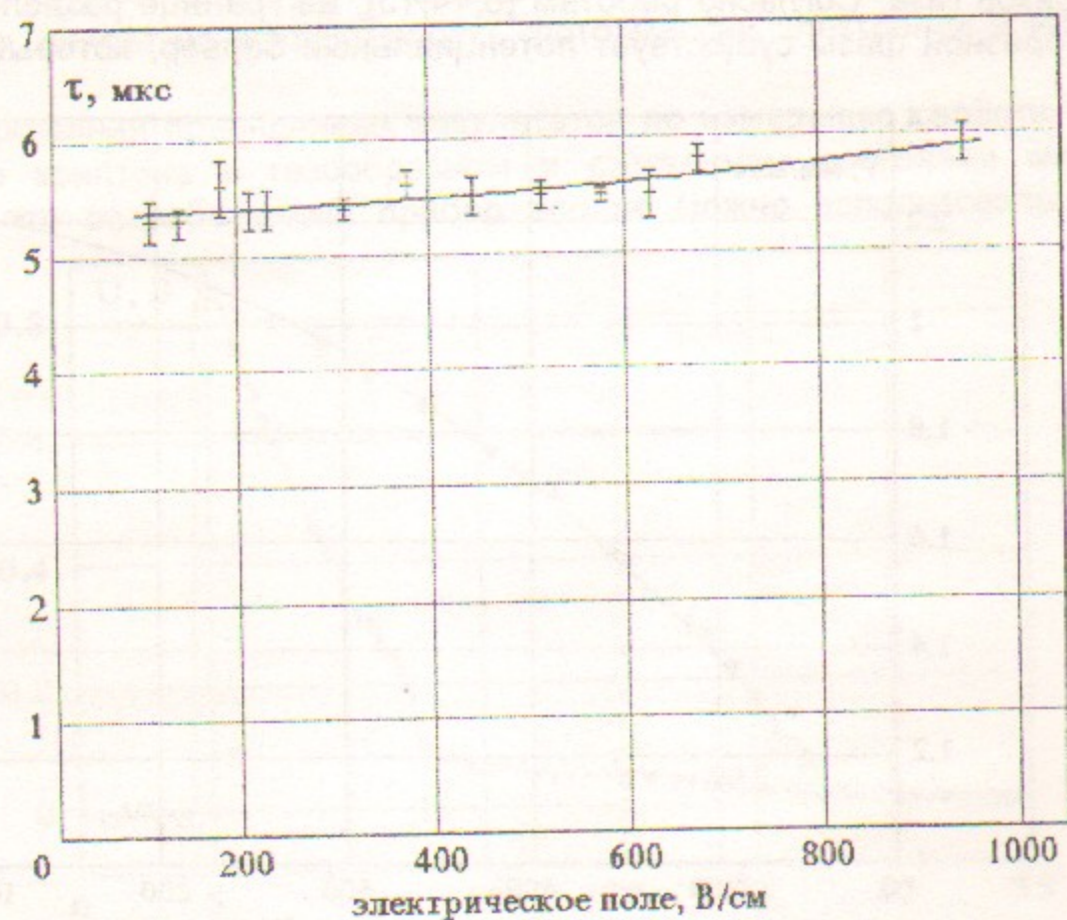


Рис. 11. Зависимость времени жизни электронов в жидком криптоне от напряженности электрического поля.

4. Заключение

Экспериментальные результаты, полученные при апробации предлагаемого метода измерения параметров свойств газообразных и конденсированных благородных газов, указывают на возможность его использования при калибровке детекторов, а также в технологическом процессе сжижения и очистки газов от электроотрицательных примесей. Применение простого электроразрядного источника излучения малой длительности позволяет получать с ионизационной камеры достаточно большой токовый сигнал, что дает возможность оперативно проводить измерения с достаточно высокой точностью. В экспериментах удалось достичь условий регистрации, при которых в сигнале практически отсутствовали помехи от электроразряда при сравнительно большом напряжении и мощности.

Обсудим возможность применения предлагаемого метода для случая, когда необходимо проводить измерения параметров сжиженного газа, содержащегося в большом криогенном сосуде, например, непосредственно в калориметре. В этом случае нет необходимости размещать прибор у поверхности жидкого газа так, чтобы ИК находилась в жидкой фазе, а электроразрядный узел в газе. Прибор можно целиком погрузить в жидкость. Необходимо только дополнить электроразрядный узел, который в большом масштабе показан на рис.12, миниатюрным нагревателем. При пропускании тока через нагреватель жидкость будет испаряться и образующийся газ заполнит внутреннюю полость электроразрядного узла, затем можно проводить измерения свойств жидкости при разряде в газе. Электрическая прочность жидкого криптона значительно выше, чем у

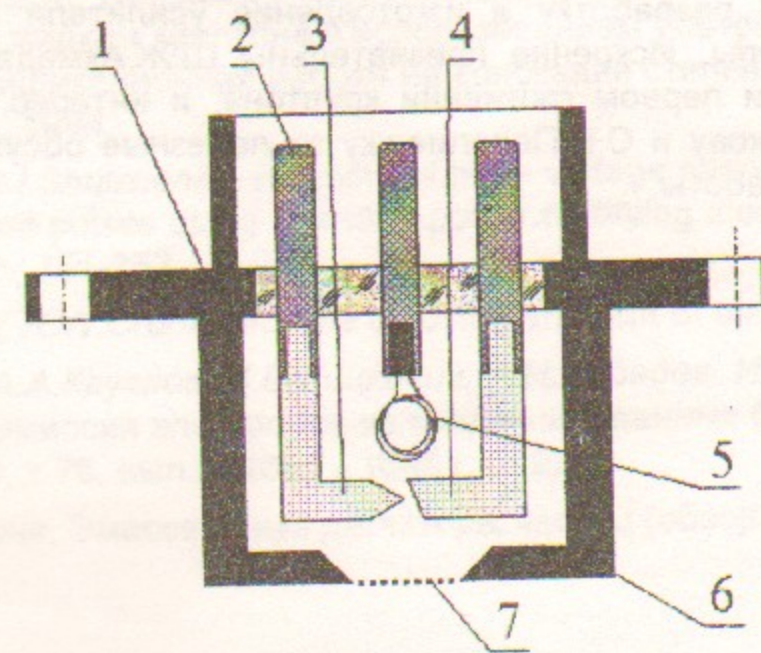


Рис. 12. 1 - корпус разъема, 2 - контакты разъема, 3 - катод, 4 - анод, 5 - нагреватель из вольфрамовой проволоки, 6 - экран, 7 - сетка

газообразного, поэтому при выбранной геометрии электродов и зазоре между ними для импульсов с амплитудой ≈ 6 кВ пробои будут происходить только после заполнения полости газом.

В принципе, для генерации излучения можно использовать криогенный разряд непосредственно в сжиженном газе, требуется только увеличить напряженность поля между электродами. Опыты с жидким азотом показали, что если в качестве электродов использовать вольфрамовые проволочки диаметром 25 мкм, расположенные параллельно друг другу с зазором между ними ≤ 25 мкм, а их концы перекрываются примерно на 1 мм, то пробой между электродами происходит и в жидкости при указанной выше амплитуде разрядных импульсов. Однако, нужно отметить, что через несколько минут работы при частоте следования разрядных импульсов 500 Гц сначала разряды становились нерегулярными, а потом и вовсе прекращались. Оказалось, что расстояние между электродами увеличилось до ~ 50 мкм из-за их эрозии. Таким образом, при разряде в жидкости продолжительность работы разрядного узла с миниатюрными проволочными электродами ограничивалась процессом эрозии.

Авторы надеются, что разработанная методика найдет применение в физике и технике детекторов на основе благородных газов.

В заключение выражаем благодарность В.С.Белкину и Г.И.Шульженко за изготовление генератора наносекундных высоковольтных импульсов, общение с ними натолкнуло на идею использования разряда в качестве источника излучения для эмиссии электронов. Благодарим Ю.В.Усова за разработку и изготовление усилителя сигнала с ионизационной камеры. Искренне признательны Ш.Ж.Ахмадалиеву за помощь, оказанную при первом сжижении криптона, и интерес к работе, а также А.Л.Масленникову и С.В.Пелеганчуку за полезные обсуждения в процессе выполнения работы.

Литература

1. V.M.Aulchenko et. al. Investigation of electromagnetic calorimeter based on liquid krypton. Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Research, A289 (1990), 468-474.
2. V.M.Aulchenko et. Al. Liquid krypton calorimeter for KEDR detector and last prototype results. Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Research, A379 (1996), 475-477.
3. V.I.Baskakov et. Al. Nucl. Instr. and Meth., 159 (1979), 83-92. Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Research, A394 (1997), 35-45.
4. V.M.Aulchenko et. al. The test of the LKr calorimeter prototype at the tagged photon beam.
5. CERN/LHCC/96-4/ ATLAS TDR2, 15 December, 1996.
6. А.С.Барабаш, А.И.Болоздыня. Жидкостные ионизационные детекторы. М., Энергоатомиздат, 1993.
7. А.С.Барабаш и др. ПТЭ, 1978, Вып.6, 189-192.
8. Aprile E., Giboni K.L., Rubbia C. Ibid. 1985, Vol. A241, N1, 62-71.
9. Ободовский И.М., Покачалов С.Г., Шилов В.А. ЖТФ, т.5 (1980), вып.9, 2028-2030.
10. A.Bettini, A.Braggiotti et. al. A study of the factors affecting the electron lifetime in ultra-pure liquid argon. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A305 (1991), 177-186.
11. Ахмадалиев Ш.Ж. Измерение скорости дрейфа и длины поглощения электронов в жидком криптоне с использованием ультрафиолетового лазера. Квалификационная работа на соискание степени магистра. НГУ, Новосибирск, 1996.
12. V.S. Belkin, G.I.Shulzhenko. Forming of high-voltage nanosecond and subnanosecond pulses using standart power rectifying diodes, RSI, 1994, V65(3), March, 751-753.
13. L.G.H.Huxley, R.W.Crompton. The diffusion and drift of electrons in gases.
14. Е.М.Гущин, А.А.Круглов, В.В.Лицкевич, А.Н.Лебедев, И.М.Ободовский, С.В.Сомов. Эмиссия электронов из конденсированных благородных газов. ЖЭТФ, т.76, вып.5, 1684 - 1689 (1979).
15. А.И.Болоздыня. Эмиссионные детекторы частиц (обзор). ПТЭ, 1985, №2, 5 - 23.

П.Н. Евтушенко, А.И. Rogozin, Ю.А. Тихонов

**Простой метод измерения скорости дрейфа
и времени жизни электронов в газообразном
и конденсированном криптоне**

P.N. Evtushenko, A.I. Rogozin, Yu.A. Tikhonov

**Simple method for measurements
of drift velocity and lifetime of electrons
in gaseous and liquid krypton**

ИЯФ 99-3

Ответственный за выпуск А.М. Кудрявцев

Работа поступила 21.01. 1999 г.

Сдано в набор 22.01.1999 г.

Подписано в печать 22.01.1999 г.

Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 1.4 печ.л., 1.1 уч.-изд.л.

Тираж 120 экз. Бесплатно. Заказ № 3

Обработано на IBM PC и отпечатано на
ротапринте ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН

Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.