

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Кафедра Электрофизических установок и ускорителей (ЭФУиУ)

## ОТЧЁТ по практике

тема: « Радиоактивная стойкость газовой системы, изготовленной из нержавеющей стали и эксперимент для оценки применимости газа ДМЭ от поставщика Aerosolex Llc для Дрейфовой камеры детектора Кедр, сравнение результатов с аналогичным экспериментом на газе от Института Катализа.»

### 03.03.02 Физика Физико-технический

Вид практики: производственная практика

Тип практики: научно-исследовательская работа

За 8 семестр

Руководитель от НГТУ

Руководитель от организации

---

---

---

Тодышев К.Ю  
Доктор физико-математических наук

---

Новосибирск – 2021

# Содержание

<b>Введение</b>	<b>2</b>
<b>1 Теория</b>	<b>3</b>
1.1 Радиационное старение . . . . .	3
1.1.1 Механизм старения . . . . .	3
1.1.2 Анодное старение . . . . .	4
1.1.3 Катодное старение . . . . .	4
<b>2 Описание экспериментальной установки</b>	<b>5</b>
2.1 Пропорциональный счётчик . . . . .	5
2.2 Газовая система . . . . .	6
<b>3 Результаты</b>	<b>7</b>
3.1 Графики . . . . .	7
3.2 Неопределённости измеренных величин . . . . .	12
3.3 Объяснение результатов на модели ДК СЧТФ . . . . .	12
<b>Заключение</b>	<b>12</b>

## **Введение**

В Новосибирске планируется реализация проекта, имеющего название Супер чарм-тау фабрика(СЧТФ). Целью строительства установки являются прецизионные эксперименты по физике элементарных частиц в области рождения тау-лептона и D-мезонов, для выявления и изучения явлений и процессов, выходящих за рамки Стандартной модели. В данной научно-исследовательской работе проводятся эксперименты необходимые для создания подсистемы этого детектора - Дрейфовая камера(ДК), основным применением которой являются определение траекторий, рожденных частиц.

В качестве рабочей смеси на ДК СЧТФ планируется использовать смесь  $He/C_3H_8(60|40)$ . Эта смесь имеет сравнительно высокий коэффициент радиационного старения. Поэтому для создания газовой системы ДК СЧТФ, необходимо создать условия с максимальной радиационной устойчивостью. Для создания данных условий было принято решение изготовить газовую систему из нержавеющей стали. В дальнейшем газовая система, изготовленная из ПВХ-трубок будет называться газовой системой 1, а газовая система, изготовленная с использованием трубок из нержавеющей стали газовой системой 2.

Цели, поставленные для этой научной работы:

- 1) Введение в эксплуатацию газовой системы 2. Измерение коэффициента радиационного старения при использовании газа ДМЭ от института Катализа.
- 2) Проверка по результатам эксперимента отсутствия на внутренних поверхностях газовой системы 2 загрязнений. Сравнение влияния на радостойкость газа от Института Катализа газовой системы 2, с влиянием на неё газовой системы 1.
- 3) Исследование влияния золочения катодных проволок на токи, вызванные Мальтер-эффектом.
- 4) Экспериментальная сравнения уровня загрязнённости газа ДМЭ от поставщика Aerosolex Llc, с используемым на момент написания работы газом.
- 5) Экспериментальное подтверждение радиоактивной стойкости материалов, которые планируется использовать для создания СЧТФ.

# 1 Теория

## 1.1 Радиационное старение

### 1.1.1 Механизм старения

Старение дрейфовых камер может быть вызвано вследствие возникновения следующих двух явлений - полимеризация и десорбция [5]. Полимеризация - процесс образования высокомолекулярного вещества, называемого полимером, путем многократного присоединения молекул низкомолекулярного вещества. Десорбция - испускания вещества из поверхности твердого тела или поверхностного слоя жидкости в раствор или газ. В случае ДК это полимеризации молекул рабочего газа и примесей, содержащихся в компонентах рабочего газа. А так же десорбции конструкционных материалов и неконтролируемых загрязнений газовой системы и камеры, из-за которой в рабочий газ также могут поступать примеси.

Для определения траектории частиц в ДК используется эффект газового усиления. Эффект газового усиления заключается в многократном увеличении заряда, образованного в процессе вторичной ионизации, по отношению к заряду первичной ионизации. Усиление происходит вблизи анодной проволочки.

После образования лавины может произойти полимеризация молекул газа, находящихся вблизи неё. После чего в зависимости от заряда полимеры дрейфуют в сторону анода или катода, где с какой-то вероятностью остаются на поверхности, на которой они оказались, либо удаляются с потоком газа из камеры. В результате на электродах могут образоваться полимерные покрытия.

Поверхность проволоки можно представить в виде микровыступов (острий), между которыми находятся впадины. Силовые линии электрического поля фокусируются на микровыступах (рис. 1). В результате этого плотность тока зарядов, образованных в процессе усиления и заряженных полимерных молекул на поверхности острия в  $\frac{S_1}{S_2}$  раз больше, чем на соседних участках. Поэтому скорость роста пленки пропорциональна напряженности поля на поверхности и может во много раз превосходить скорость роста покрытия на соседних участках поверхности электрода.

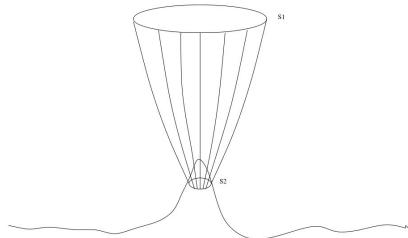


Рис. 1: Форма силовых линий в области микроострий на поверхностях анодной и катодной проволочек [2].

### 1.1.2 Анодное старение

Полимерное покрытия на аноде с течением времени увеличивают диаметр проволочки и уменьшают коэффициент усиления, в тоже время следствием неоднородность покрытия является является ухудшением амплитудного разрешения дрейфовой камеры. Но не смотря на эти явления в целом камера остаётся работоспособной.

При этом в процессе предварительного облучения происходит травление поверхности анодной проволочки и тем самым увеличивается радиус кривизны острый [5]. Напряжённость электрического поля на острьях падает, интенсивность бомбардировки единицы площади острый понижается. При этом для той же дозы облучения, набранной после предварительного облучения, толщина покрытия уменьшается. Так как полимерная плёнка начинает образовываться вблизи поверхности микроострий (месте концентрации силовых линий электрического поля), то скорость старения уменьшается, если анодная проволочка была подвергнута предварительному облучению[5].

### 1.1.3 Катодное старение

С процессами полимеризации, происходящими в лавине также связано катодное старение. Нейтрализованная молекула полимера может осться на поверхности катода. Образованная полимерная плёнка имеет плохую проводимость. Поэтому ионы могут не попасть на поверхность катода, а осесть на поверхности полимерной плёнки, образовав двойной заряженный слой. По причине того что плёнка имеет небольшую толщину, образует сильное электрическое поле, которое уменьшает работу выхода электрона с катода. В результате этого явления возникает электронная эмиссия. Одиночные электроны начинают дрейфовать в сторону анода, в процессе газового усиления образуют лавины вблизи него.

Процесс электронной эмиссии может стать самоподдерживающимся, то есть автоэмиссией. Возникают токи, которые называют "темновыми". Явления их образования называется Мальтер-эффектом (МЭ)[6]. При наличии темновых токов дрейфовая камера полностью теряет свою работоспособность.

Характерное значение средней напряженности электрического поля на поверхности катодной проволоки равно 20-40 кВ/см, при этом на конце остряя оно может достигать значения порядка 1 МВ/см и более. По этим причинам именно на поверхности острый в первую очередь достигаются условия при которых начинается МЭ. Из-за высокой напряжённости электрического поля автоэмиссия тоже в первую очередь возникает с поверхности острый. Рекомендованный предел напряжённости на поверхности катодной проволочки не превышает 20 кВ/см [7].

Коэффициент радиационного старения, учитывающий анодное и катодное старение находится, как коэффициент наклона прямой, полученной подгонкой под экспериментальные точки, по формуле:

$$R = \frac{A}{A_0 \cdot Q} \quad (1)$$

где  $A$  - амплитуда ЗЦП на облучаемом окне, ;  $A_0$  - амплитуда ЗЦП на необлучаемом окне,  $Q$  - заряд, набранный с катодных проволочек на 1 см.

## 2 Описание экспериментальной установки

### 2.1 Пропорциональный счётчик

Для проведения экспериментов был использован пропорциональный счётчик. Пропорциональный счётчик представляет собой цилиндрический конденсатор, особенность которого заключается в том, что в качестве анода используется анодная проволочка. Фотография счётчика размещена на рисунке 4. Радиус анода  $R_A = 12.5$  мкм, Радиус катода  $R_K = 10$  мм.

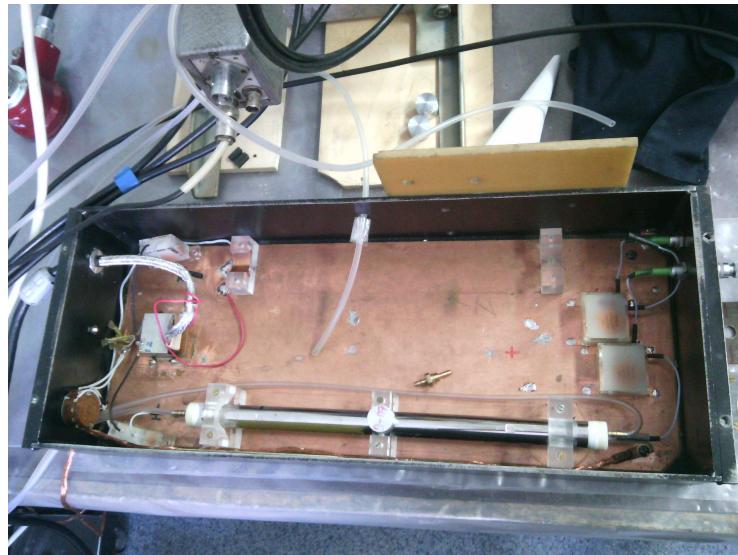


Рис. 2: Пропорциональный счётчик.

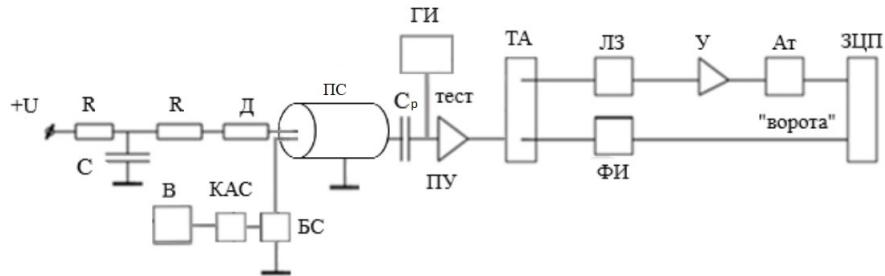


Рис. 3: Схема, собранная для измерения амплитуды ЗЦП, где В - вольтметр, КАС - Коммутатор аналоговых сигналов, БС - блок сопротивлений, ГИ - генератор импульсов, ПУ - предусилитель , ПС - пропорциональный счётчик, ЛЗ - линия задержки , Ат - Аттениатор, У - усилитель, ФИ - формирователь импульсов , ЗЦП - заряда-цифровой преобразователь.

## 2.2 Газовая система

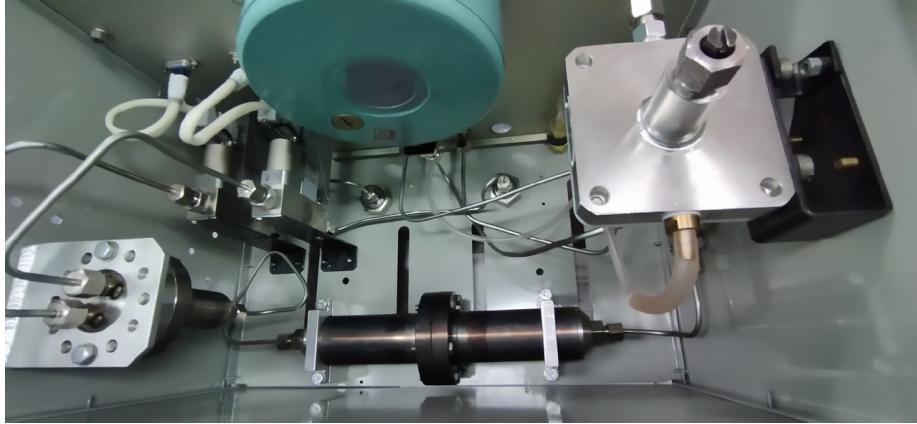


Рис. 4: Фотография газовой системы.

В модели ячейки используется смесь  $He/C_3H_8(60/40)$ . Для каждой компоненты газ из баллона через редуктор высокого давления поступает на СДГ, который также понижает давление и стабилизирует его на входе в расходомер. Расходомеры управляются контроллером потока газа, выполненном в виде блока стандарта КАМАК. Газы в заданной пропорции смешиваются в смесителе – длинной трубке объёмом около 100 мл. Далее газ поступает в модель ячейки. После счётчика установлен САД, стабилизирующий давление до себя, минимизируя таким образом зависимость коэффициента газового усиления от давления в камере. На выходе из газовой системы предусмотрен масляный затвор, предотвращающий попадание воздуха в систему (рис.5).

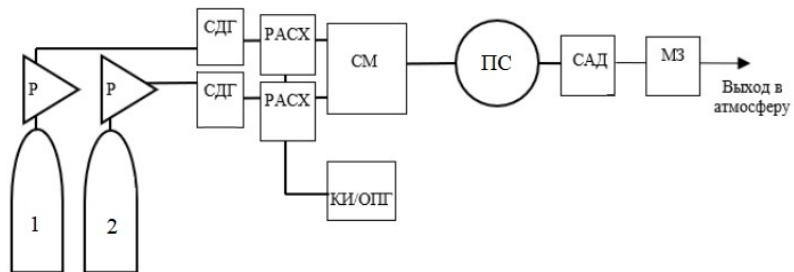


Рис. 5: Схема газовой системы: Р–редуктор, СДГ – стабилизатор давления газа, PACX – расходомер, СМ- смеситель, КИ/ОПГ – контроллер измерителя/ограничителя потока газа, управляющий, расходомером, ПС- пропорциональный счётчик, САД – стабилизатор абсолютного давления, МЗ - масляный затвор[1].

### 3 Результаты

#### 3.1 Графики

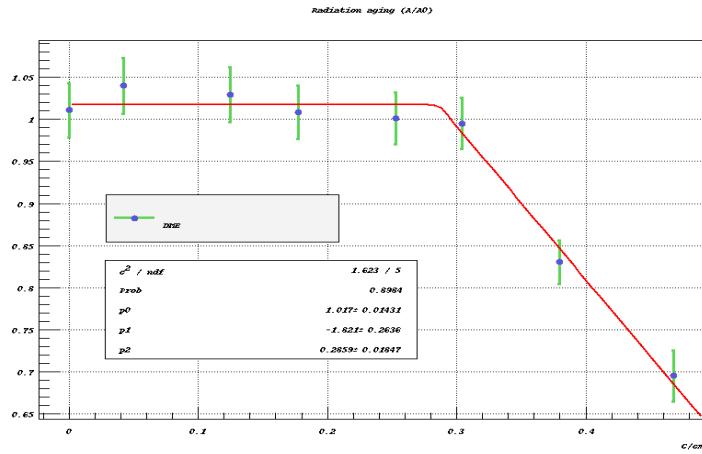


Рис. 6: Диаграмма старения, измеренная на пропорциональном счётчике с использованием ДМЭ от Института Катализа на газовой системе 2. 2200 В. Первое измерение.

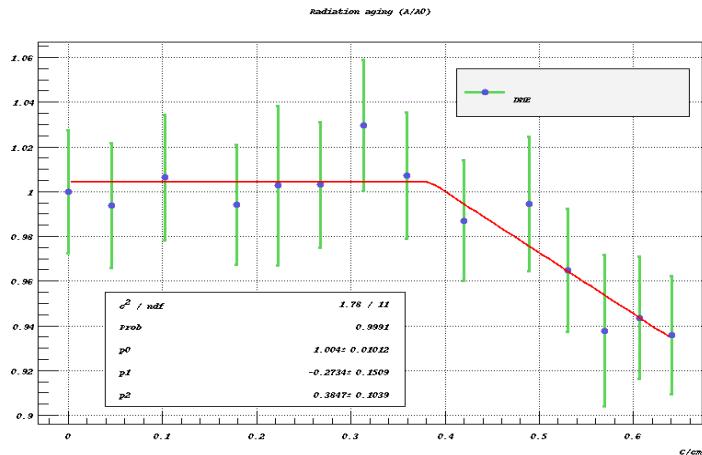


Рис. 7: Диаграмма старения, измеренная на пропорциональном счётчике с использованием ДМЭ от Aerosolex Llc на газовой системе 2. 2200 В. Первое измерение.

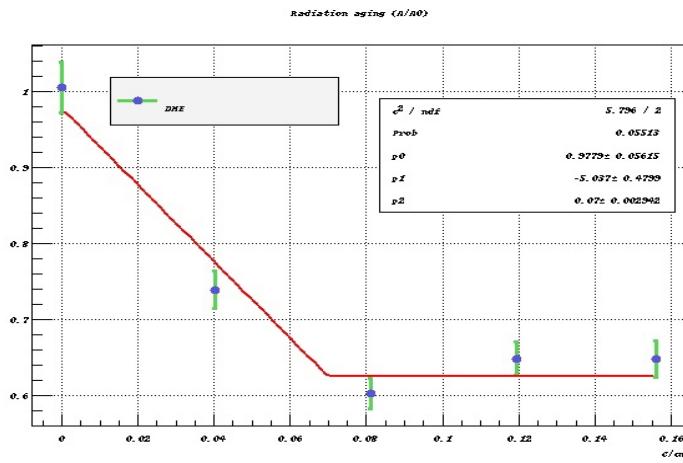


Рис. 8: Диаграмма старения, измеренная на пропорциональном счётчике с использованием ДМЭ от Aerosolex Llc на газовой системе 2. 2200 В. Второе измерение.

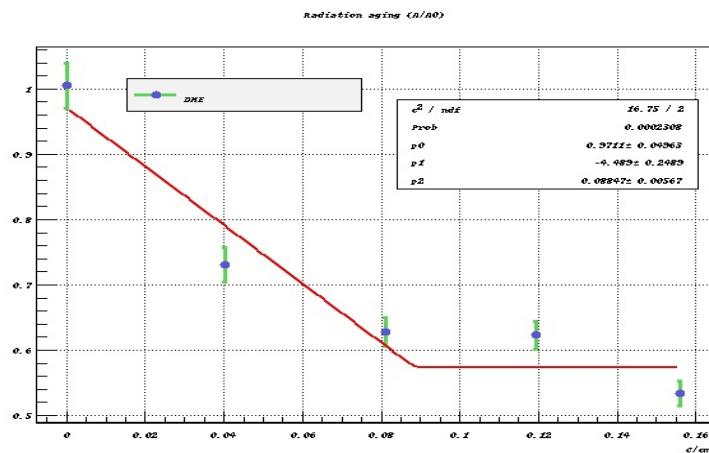


Рис. 9: Диаграмма старения, измеренная на пропорциональном счётчике с использованием ДМЭ от Aerosolex Llc на газовой системе 2. 2250 В. Второе измерение.

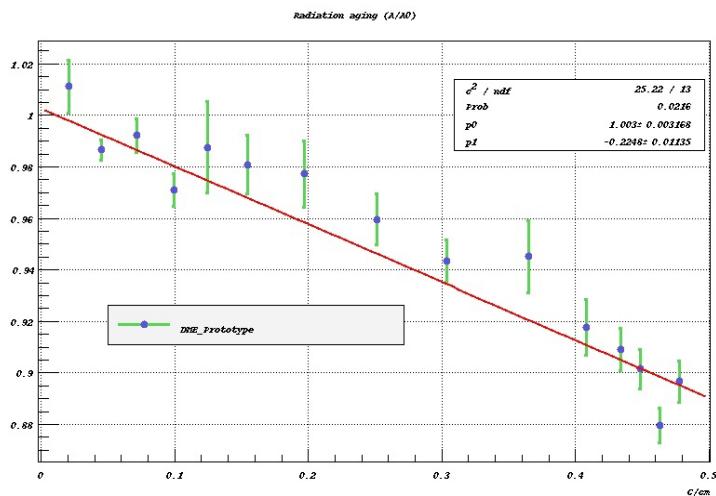


Рис. 10: Диаграмма старения, измеренная на прототипе ДК СЧТФ с использованием ДМЭ от Института Катализа на газовой системе 1. 2000 В.

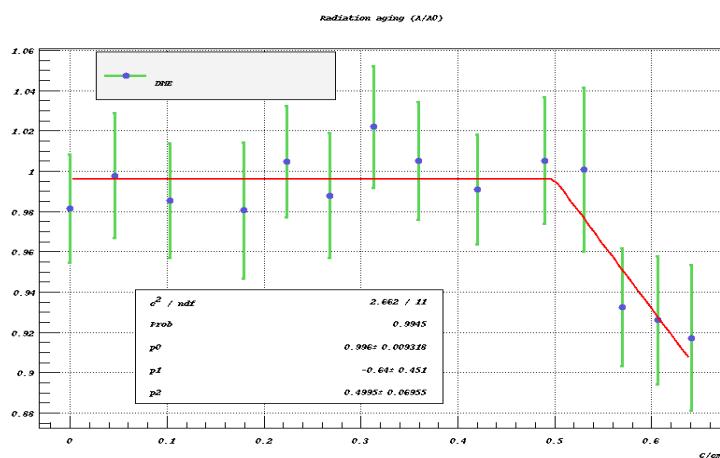


Рис. 11: Диаграмма старения, измеренная на пропорциональном счётчике с использованием ДМЭ от Aerosolex Llc на газовой системе 2. 2250 В. Первое измерение.

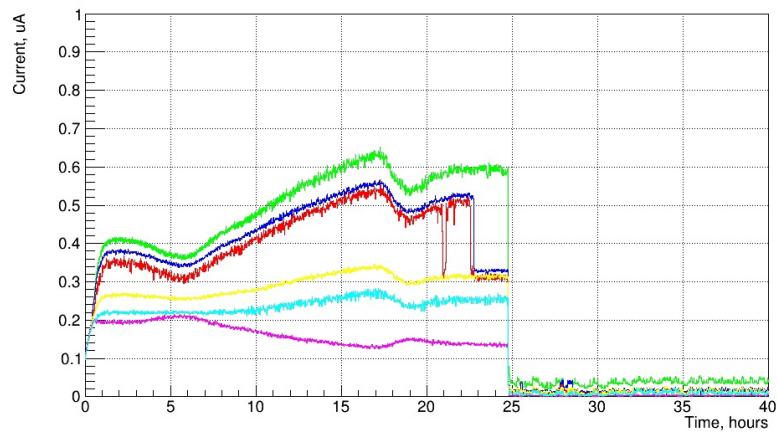


Рис. 12: Ток с катодов, измеренный на установке с экранами в 100 мк. Исследование влияния золочения катодных проволочек на катодное старение

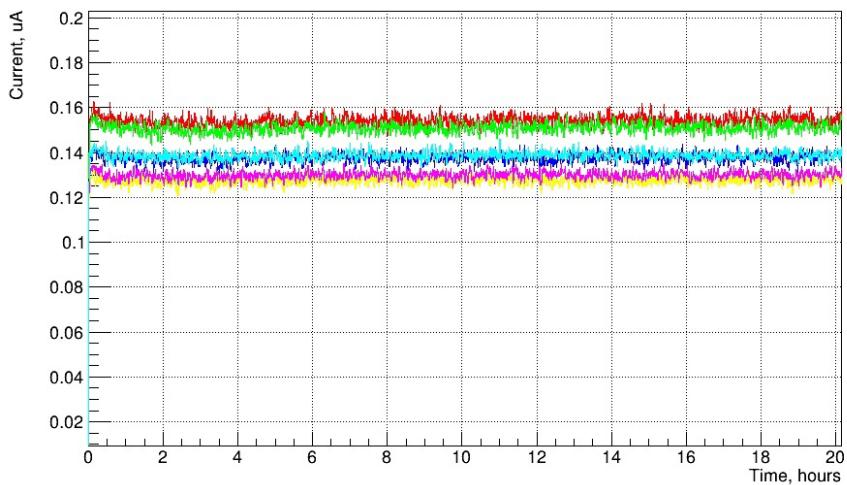


Рис. 13: Ток с катодов, измеренный на модели СЧТФ на второй день.

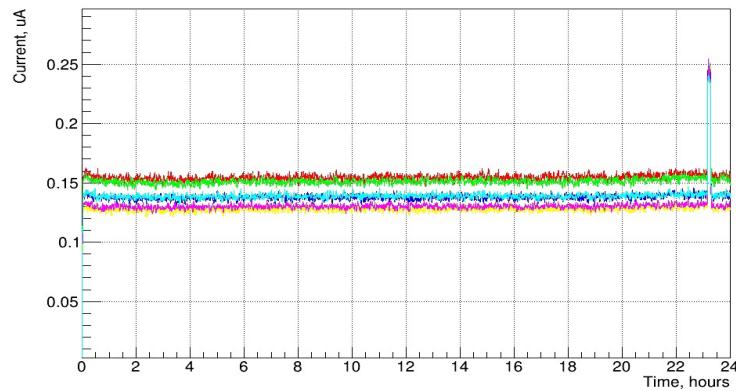


Рис. 14: Ток с катодов, измеренный на модели СЧТФ на третий день. Возникновение и исчезновение точечного источника Мальтер-эффекта.

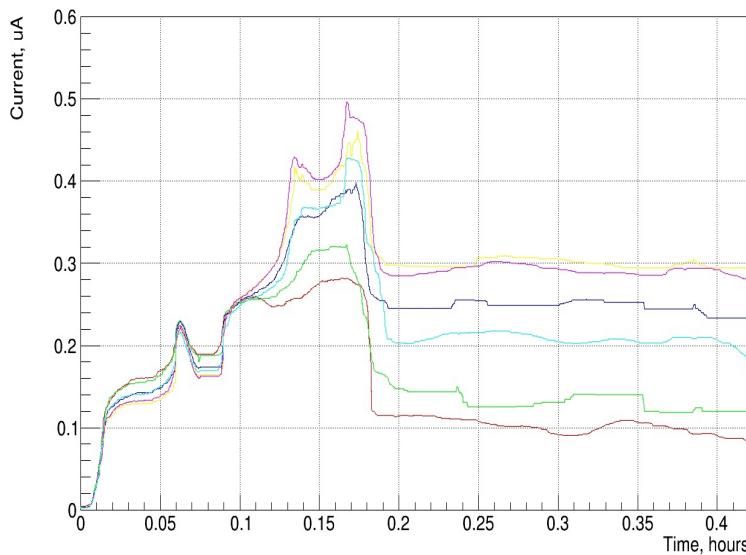


Рис. 15: Ток с катодов, измеренный на модели СЧТФ на четвёртый день. Возникновение Мальтер-эффекта.

### 3.2 Неопределённости измеренных величин

Погрешность косвенных измерений:

$$R = \frac{A}{A_0 \cdot Q} \rightarrow \sigma R = R \sqrt{\left(\frac{\sigma A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\sigma A_0}{A_0}\right)^2} \quad (2)$$

Погрешность, зависящая от давления и температуры была найдена в первом приближении с использованием результатов моделирования [8]:

Таблица 1: Основные неопределённости электронной компоненты КГУ.  $P$  - давление,  $T$  - температура,  $C$  - концетрация.

Наименование газа или смеси	$\delta KГU(P)$ , %	$\delta KГU(T)$ %	$\delta KГU(C)$ %
$He/C_3H_8(60 40)$	1.5	1.6	1.6
ДМЭ	2.1	1.6	0

### 3.3 Объяснение результатов на модели ДК СЧТФ.

Радиационное старение на модели ДК СЧТФ отличается от старения ПС, так как в модели присутствуют как анодные, так и катодные проволочки. Поэтому на модели ДК СЧТФ выражено как анодное, так и катодное старение. На рисунке 13 показана картина токов на модели ДК СЧТФ, на которой катодное старение незаметно. Но такая же картина является типичной для ПС. Если токи поддерживают постоянную величину, то анодное старение отсутствует. Это область нулевого старения. Если токи медленно убывают, это означает обрастане анода, что уменьшает КГУ. Это является признаком анодного старения. На рисунке 14 показан резкий всплеск тока, который является появлением точечного источника Мальтер-эффекта, и первым проявлением катодного старения.

На рисунке 13 токи на катодах распределены пропорционально средней напряжённости электрического поля на катодах. На рисунке 15 токи на катодах после выхода на постоянное значение распределены обратным образом. Как во всех измеренных точках, эксперимент начинался одинаково, изотоп Sr помещался, на измерительное окно, и измерялся ток с катодов. Но на рисунке 15 катодное старение достигло такого уровня, что от Мальтер-эффекта образовались темновые токи. Первый всплеск тока на рисунке происходит по причине образованного монослоя из нейтрализованных полимеров, на который начинают оседать ионы, после чего под действием электрического поля электроны начинают покидать катод. Далее ток начинает убывать потому, что часть ионов начинает нейтрализоваться с вылетающими с катода электронами, и большое количество ионов не доходит до катода. В итоге на некоторое время система приходит в равновесие. Далее начинают образовываться новые слои. После образования новых слоёв количество электронов покидающих катод увеличивается. Всё большее количество электронов попадает в области, в которых находятся ионы, и электроны начинают частично нейтрализоваться с ионами на поверхности катода. И чем выше напряжение катода, тем интенсивнее идёт этот процесс. Поэтому графики токов меняют своё направление.

## **Заключение**

В результате эксперимента, направленного на изучение влияния золочения катодных проволок на катодное старение, токи, измеряемые с золочёных катодов, имеют меньшую величину, чем токи, измеряемые с не золочёных. (рисунок 12). Это подтверждает улучшение радиационной стойкости поверхности с такой обработкой .

Предварительные результаты эксперимента, направленного на сравнение радиационной стойкости газа ДМЭ от поставщика Aerosolex Llc и от Института Катализа, позволяют сделать выводы о более высокой радиационной стойкости газа ДМЭ от поставщика Aerosolex Llc. (рисунок 6,7) Первый повторный эксперимент имеет неудовлетворительный результат 8,9,9 . Наиболее вероятно это связано с некачественной перетяжкой пропорционального счётчика, и не имеет отношения к качеству газа от Института Катализа.

Сравнить, влияние на радиационную стойкость газовой системы, изготовленной с использованием ПВХ-трубок(1) с аналогичной газовой системой, изготовленной с использованием трубок из нержавеющей стали(2), и сделать выводы в пользу одной из систем по текущим данным не представляется возможным. Можно сделать вывод о том, что газовая система 2 более герметична по отношению к газовой системе 1. Газовая система 2 имеет область нулевого старения, после которой начинается область интенсивного старения. Для того, чтобы сделать конкретные выводы, нужно провести измерения на газовой системе 1 в этой области.

Коэффициент радиационного старения измеренный на модели ДК СЧТФ с использованием газа ДМЭ и газовой системы 1 на напряжении 2200 В равен  $(22,5 \pm 1,1)\%$ (рисунок(10).

## **Список литературы**

- [1] Б. Д. Куценко / Выпускная квалификационная работа: "Исследование радиационного старения на модели ячейки дрейфовой камеры детектора для Супер Чарм-тау фабрики Новосибирск 2020- 55 с.
- [2] Блинов В. Е., Присекин В. Г. / Исследование катодного старения и порога возникновения автоэмиссии с поверхности катодной проволоки в дрейфовых камерах - Новосибирск 2012- 25 с.
- [3] Д. И. Трубецкой / Вакуумная микроэлектроника - Саратовский государственный университет 1997 - 58 -64 с.
- [4] K. Todyshev, "Drift chamber R and D progress in Novosibirsk" [Электронный ресурс] // Joint Workshop on future Charm-Tau Factory 24-28 September 2019, RAS (Moscow).
- [5] V.E.Blinov, I.N.Popkov, A.N.Yushkov, Aging measurements in wire chambers. Nucl. Instr. and Meth. A515 (2003) 95.
- [6] Malter L. Thin film field emission //Physical Review. – 1936. – Т. 50.– №. 1. – С. 48.
- [7] R. Kotthaus, Nucl. Instr. and Meth. A 252 (1986) 531.
- [8] М. Д. Григорьев / Отчёт по практике: "Исследование газового усиления для дрейфовых камер." / Новосибирск 2020- 43 с.