

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(государственный университет)»

Факультет общей и прикладной физики

Кафедра физики высоких энергий

Выпускная квалификационная работа бакалавра

Прототип дрейфовой камеры из 15-мм лавсановых трубок

Выполнил:
студент 324 группы
Ёч С.К.

Научный руководитель:
к.ф.-м.н., Фахрутдинов Р.М.

НИЦ «Курчатовский
институт» ИФВЭ

Протвино 2017

Оглавление

1 Введение	2
2 Конструкция дрейфовой трубки	6
3 Технология изготовления трубок	8
4 База данных	11
5 Контроль качества трубок	
5.1 Натяжение	12
5.2 Сопротивление листов	14
5.3 Сопротивление трубок	16
5.4 Испытания на герметичность	17
5.5 Высоковольтные испытания	19
6 Изготовление камеры и измерения	21
7 Заключение	24
8 Список литературы	25

1. Введение

Работа дрейфовых камер основана на явлении ионизации. Пролетающая через вещество заряженная частица ионизирует его, цилиндрическое электрическое поле внутри камеры ускоряет образовавшиеся ионы и электроны. В определенный момент возникает лавина электронов, ток усиливается при этом на несколько порядков и итоговая величина тока оказывается пропорциональна величине ионизации. [1]

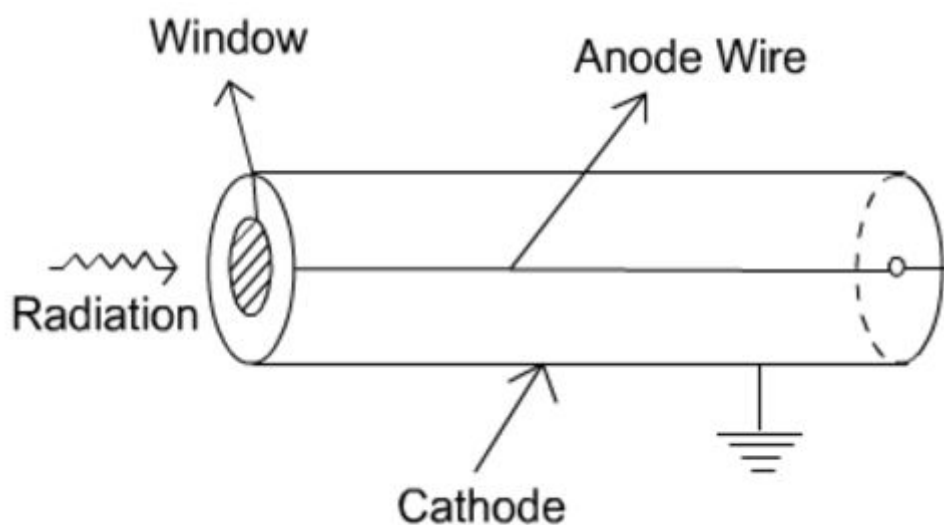


Рис.1. Схема цилиндрического пропорционального детектора

Образовавшиеся в ходе первичной ионизации электроны перемещаются в газе со скоростью дрейфа, которая зависит от состава и давления газа, а также напряжённости электрического поля. Поэтому, определив момент прохождения заряженной частицы через дрейфовую камеру (с помощью других счётчиков) и время прихода сигнала с сигнальной проволоки, при известных скоростях дрейфа, можно восстановить расстояние от траектории частицы до проволоки. Зная расстояние до нескольких сигнальных проволок, можно с хорошей точностью восстановить траекторию частицы. В современных дрейфовых

камерах, включая исследуемые в работе, пространственное разрешение составляет порядка 100 мкм.

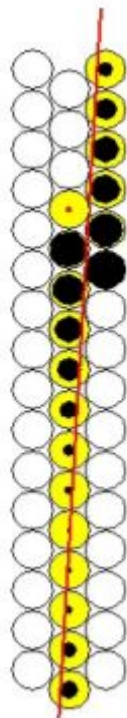


Рис. 2. Пример восстановленного трека частицы в дрейфовой камере.

Существует большое количество различных конструкций дрейфовых детекторов, в том числе плоские, цилиндрические, сферические многопроволочные камеры. Основным преимуществом камер из отдельных дрейфовых трубок является их устойчивость как системы в целом при выходе из строя отдельных элементов (дрейфовых трубок). Поэтому детекторы из дрейфовых трубок часто являются более предпочтительными в использовании, чем другие типы дрейфовых детекторов.

Ранее в больших количествах изготавливались и использовались детекторы, состоящие из трубок в алюминиевом корпусе, однако для многих экспериментов важным является уменьшение количества вещества

на пути частицы, поэтому в них целесообразно изготовление и использование детекторов именно из лавсановых трубок.

Использование трубок диаметром 15 мм вместо 30 мм позволяет существенно увеличить загрузочную способность камер. За счёт уменьшения диаметра трубок в 2 раза среднее время дрейфа электронов в них также уменьшается вдвое, а за счёт эффекта объёмного заряда при этом загрузочная способность увеличивается в 4 раза, т.е. уменьшение диаметра трубки вдвое позволяет увеличить загрузочную способность детекторов примерно на порядок.

Данная работа посвящена прототипу дрейфовой камеры из 15-мм лавсановых трубок, а также самим трубкам. Цель работы - изучение принципов работы, конструкции и процесса изготовления дрейфовых трубок и камер из дрейфовых трубок, создание и заполнение базы данных для контроля качества и изучения изменения характеристик трубок и камер во времени.

Исследуемые в работе камеры предполагается использовать в эксперименте СПАСЧАРМ, который запланирован на ускорителе У-70. Эксперимент посвящён изучению спиновой зависимости адронных взаимодействий и спиновой структуры нуклонов. В эксперименте предполагается исследовать односпиновые поперечные асимметрии в инклюзивных процессах на различных пучках, в первую очередь пучках поляризованных протонов и антипротонов. Запланировано использование множества дрейфовых камер, камеры из 15-мм лавсановых трубок будут располагаться в наиболее близкой к мишени зоне, т.к. имеют существенно большую загрузочную способность, чем дрейфовые камеры других типов.

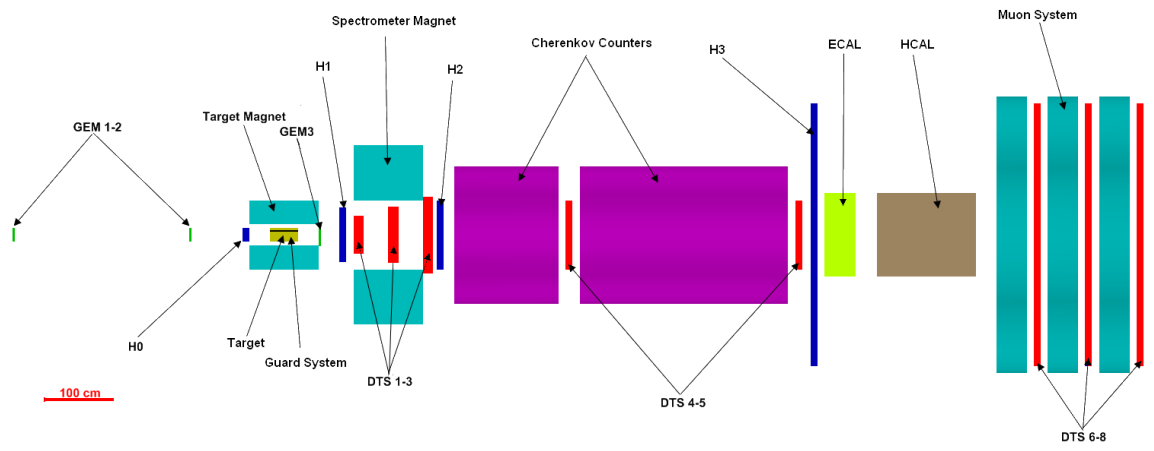


Рис. 3. Схема установки СПАСЧАРМ.

2. Конструкция дрейфовой трубки

Корпусом и катодом дрейфовой трубки является лавсановая трубка диаметром 15 мм и толщиной стенок 0,125 мм с двухсторонним алюминиевым покрытием [2]. Анодом является сигнальная золоченая вольфрам-рениевая проволока, натянутая вдоль оси трубки и зафиксированная в торцевых заглушках, которые герметично закрывают трубку с обоих концов. Торцевые заглушки изготовлены методом литья пластика с двумя закладными деталями – наружным алюминиевым кольцом и внутренней латунной трубкой-вставкой, в которую установлены позиционирующие латунные пластины толщиной 0.5 мм, с отверстием в них диаметром 60 ± 7 мкм, через которые продета проволока.

На центральные пины торцевых заглушек надеты сигнальные колпачки. Один из них предназначен для подачи напряжения. Второй - для подключения к усилителю формирователя. С обоих концов на трубку надевается газовый соединитель, через который в трубку поступает рабочий газ. На рис. 4 и 5 представлена конструкция дрейфовой трубки и схема её подключения.

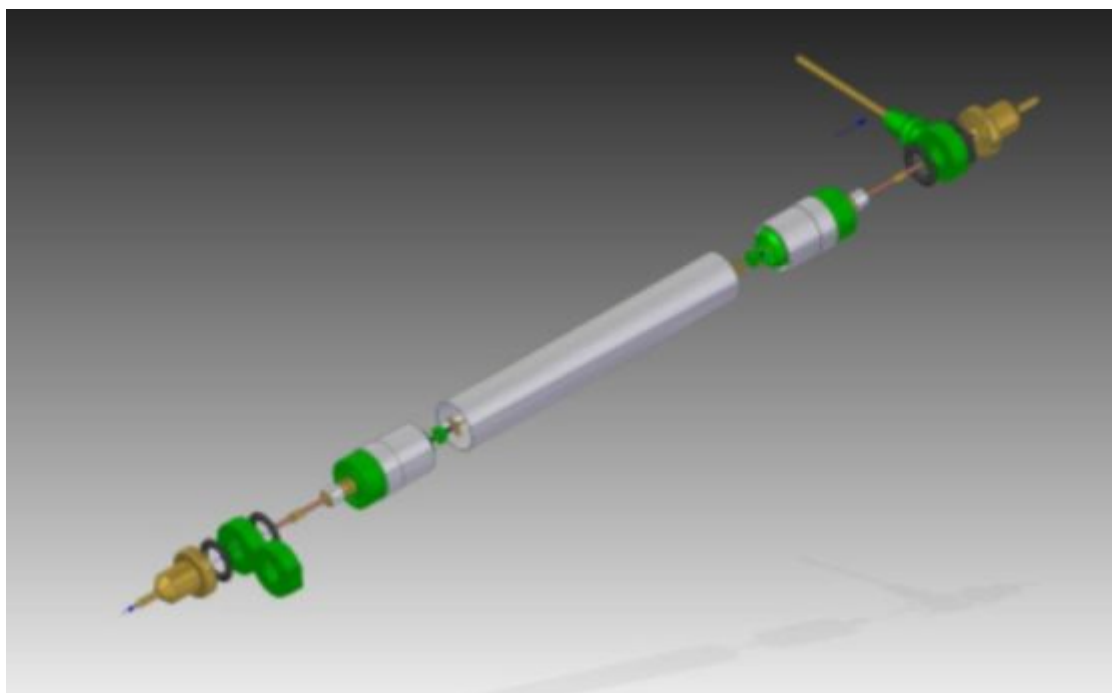


Рис 4. Конструкция дрейфовой трубки

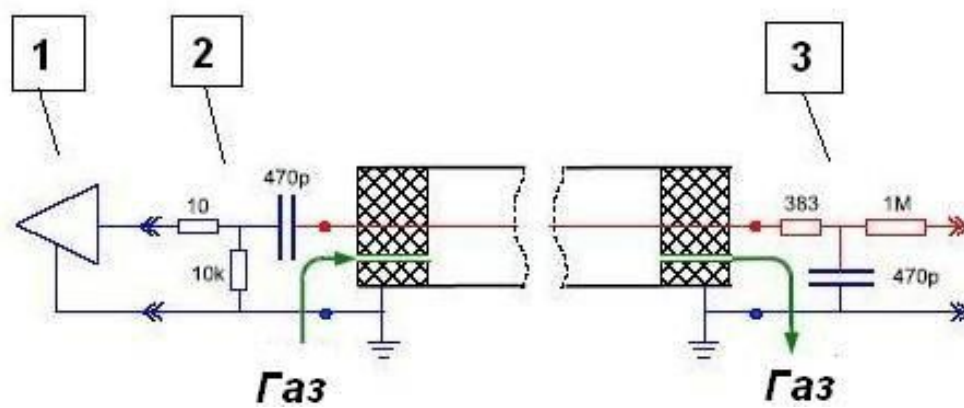


Рис. 5. Схема подключения дрейфовой трубки

3. Технология изготовления трубок

Рулон лавсановой пленки шириной 600 мм на специальном стенде разрезается на полосы шириной 51 ± 0.25 мм [2]. Полосы с пятнами, царапинами, гофрами и другими внешними дефектами бракуются. С целью проверки качества алюминиевого покрытия нарезанных полос производится измерение электрического напряжения полос с обеих сторон. Полосы, сопротивление обеих сторон которых превышает значение 50 Ом/метр считаются бракованными. Поверхность полосы с меньшим сопротивлением назначается внутренней поверхностью трубки.

Готовая полоса оборачивается вокруг стержня-оправки, затем вместе со стержнем переносится на сварочный стапель [6]. На сварочном стапеле стержень полностью оборачивается лентой, края ленты закрепляются прижимами. Вначале закрепляется дальний (от оператора) ряд прижимов, затем ближний. После этого еще раз поднимаются и опускаются прижимы первого ряда для освобождения края полосы.

Включается ультразвуковая колебательная система сварочного аппарата, «головка» аппарата подводится к началу сварного шва. Опускается сварочная головка аппарата и включается двигатель перемещения сварочной головки аппарата вдоль стержня, скорость перемещения составляет около 1 см/сек. Сложенные края ленты свариваются внахлест.

После полного прохода сварочной головки вдоль стержня установка выключается, защелки сварочного стапеля расцепляются, сваренная труба вместе со стержнем-оправкой вынимается из ложементов сварочного стапеля, после чего сваренная трубка стягивается со стержня.

Внутренняя поверхность корпуса дрейфовой трубки подвергается вакуумной чистке от пыли, при помощи пылесоса со специальной насадкой, остальные детали и комплектующие очищаются дополнительно.

Лавсановый корпус фиксируется внутри опор-фиксаторов стапеля сборки дрейфовых трубок, две торцевых заглушки закрепляются внутри вспомогательных опор-держателей сборочного стапеля. Через корпус и отверстия в позиционирующих пластинах в обеих торцевых заглушках протягивается анодная проволока диаметром 50 мкм. Проволока обрезается, с обеих сторон трубки остаются свободные концы длиной 30-50 см.

На посадочные поверхности торцевых элементов наносится клей, и они вставляются в лавсановый корпус, при этом проволока слегка натягивается. Клеевое соединение обжимается резиновыми кольцами для обеспечения надежного электрического контакта между торцевым элементом и внутренним алюминиевым слоем лавсановой трубки. Затем трубка выдерживается на специальном стенде не менее 12 часов до затвердевания клея.

После этого на сборочном стенде с помощью пневмозажима проволока фиксируется в медном капилляре торцевой заглушки. С другой стороны проволока прикрепляется к устройству натяжения, которое сначала создает преднапряжение 450 г, затем снижает натяжение до 350 г. Значение натяжения при этом контролируется по резонансной частоте колебаний. После натяжения проволока фиксируется в капилляре второй торцевой заглушки, лишние куски проволоки обрезаются, оставшаяся часть проволоки выступает из капилляра на 3-5 мм.

После прохождения всех процедур контроля качества, на трубку с надеваются элементы газового соединения и сигнальные колпачки с резиновой прокладкой.



Рис. 6. Фотография элементов трубок.

4 База данных

Для сбора и анализа характеристик трубок и контроля их качества была создана база данных, общий вид которой приведен ниже. В базу заносились результаты измерений сопротивления трубки R ; сопротивления внутренней и внешней поверхностей трубок ($R_{\text{внутр}}$ и $R_{\text{внеш}}$ соответственно); период колебаний проволоки T ; сила натяжения проволоки, рассчитанная на основе измеренного периода колебаний F ; а также утечка Q и напряжение начала коронного разряда U .

№ трубы	№ листа	R , Ом	$R_{\text{внутр}}$, Ом	$R_{\text{внеш}}$, Ом	T , мс	F , г	Q , Па·м ³ /с	U , В

5 Контроль качества трубок

5.1 Натяжение

Одним из факторов, влияющих на разрешающую способность детекторов, является точность позиционирования трубок и проволок внутри них, а также провисание проволоки. Максимальное провисание проволоки определяется по формуле $\Delta h = \frac{ql^2}{8T}$, где q – вес единицы длины проволоки, l – её длина, T – сила натяжения проволоки. В нашем случае $l=0,6$ м, $q=0,39$ мг/см, $T=350$ г, значит максимальное провисание проволоки составляет менее 10 мкм, при этом заявленная разрешающая способность камер составляет 100 мкм, т.е. вклад провисания проволоки в разрешающую способность невелик.

Натяжение проволоки определяется по частоте основной гармоники резонансных колебаний проволоки с помощью резонансного частотомера и размещённого около трубки постоянного магнита. В постоянном внешнем магнитном поле по проволоке пропускаются импульсы тока, что вызывает её колебания и возникновение переменного тока, период которого и измеряется прибором. Сила натяжения рассчитывается по формуле $T = \frac{4l^2\rho S}{T^2}$, где l – длина проволоки, ρ – плотность материала проволоки, S – площадь поперечного сечения, T – период колебаний, измеряемый непосредственно. Для используемой проволоки $\rho S=3,925*10^{-5}$ кг/м. Результаты измерений представлены на рис. 7.

Среднее значение натяжения 348 г, среднеквадратичное отклонение 4 г. Результаты измерений натяжения проволок находятся в узком диапазоне и соответствуют номинальному значению в 350 г; трубки по этому параметру не бракуются.



Рис. 7. Натяжение проволоки в трубках.

5.2 Сопротивление листов

Перед сваркой листов алюминизированного с двух сторон лавсана в трубки измеряется электрическое сопротивление каждой из сторон этих листов. Результаты измерений представлены на рис. 8 и 9.

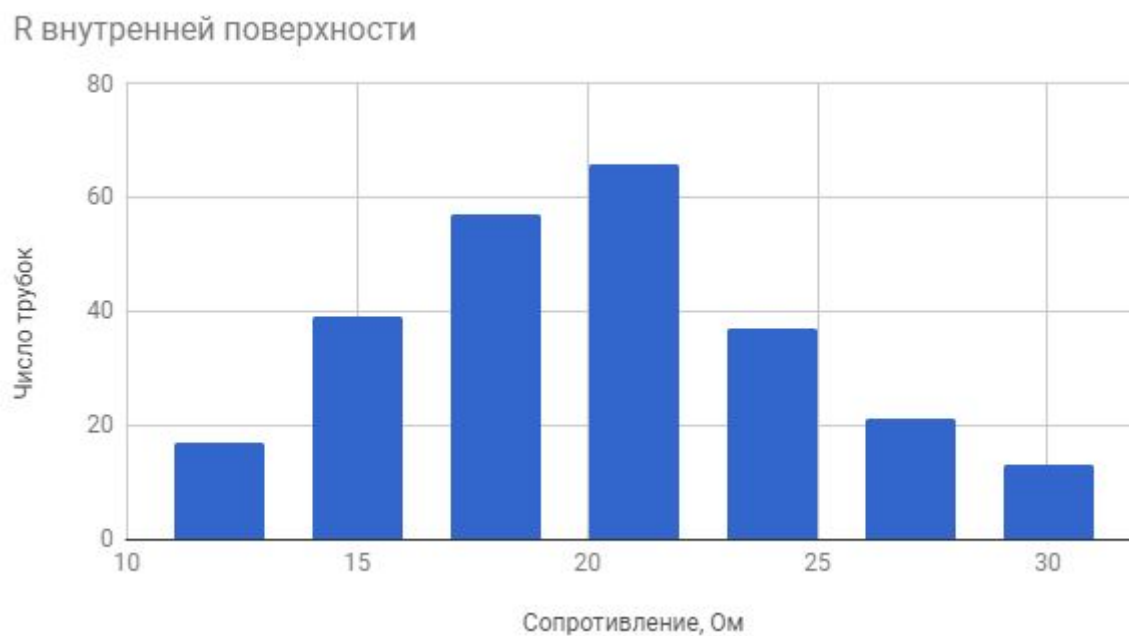


Рис. 8. Сопротивления внутренних поверхностей.

Среднее значение сопротивления внутренних поверхностей трубок 19 Ом, среднеквадратичное отклонение 5 Ом.

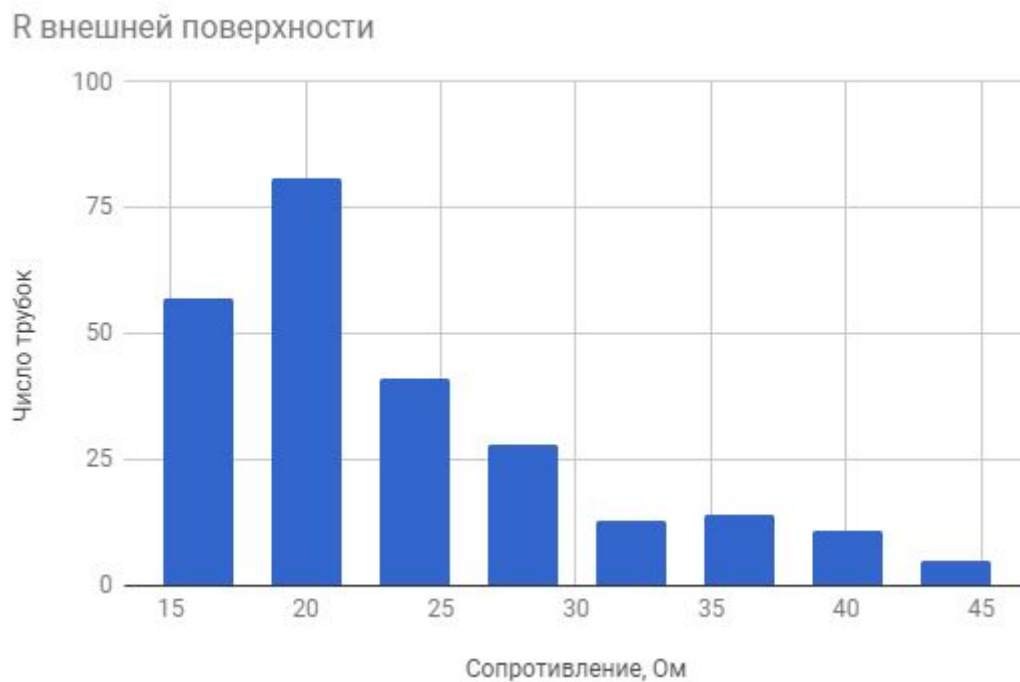


Рис. 9. Сопротивления внешних поверхностей.

Среднее значение сопротивления внешних поверхностей трубок 23 Ом, среднеквадратичное отклонение 7 Ом.

5.3 Сопротивление трубок

Общее сопротивление измеряется между двумя торцевыми наконечниками трубки с помощью омметра. Результаты представлены на рис. 10.

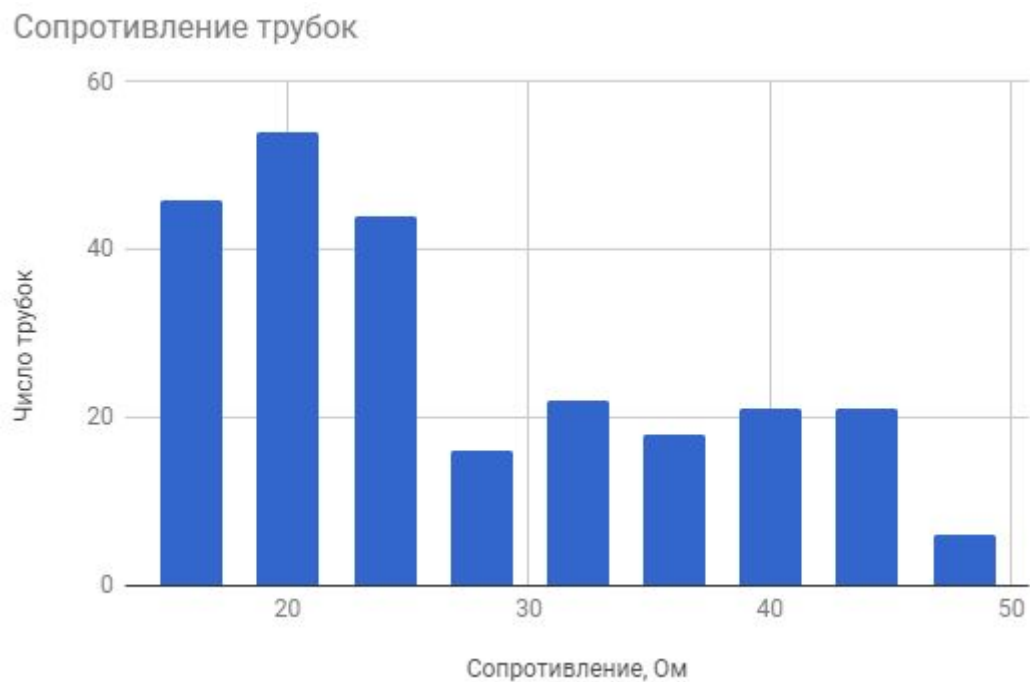


Рис. 10. Сопротивление трубок.

Среднее значение 25 Ом, среднеквадратичное отклонение 8 Ом.

5.4 Испытания на герметичность

Испытания на герметичность проводятся на стенде пневмовакуумных испытаний (рис.11) [6]. Трубка загружается в вакуумную камеру, которая затем откачивается до давления ниже 1 Па. Из трубки также откачивается воздух, затем трубка заполняется смесью 90% N₂ + 10% He при давлении 0.2 МПа. Через лавсановую плёнку, а также через возможные дефекты трубки гелий проникает в вакуумную камеру. Течеискатель регистрирует поток гелия через 2 мин после напуска азотно-гелиевой смеси в дрейфовую трубку. Зарегистрированный поток составляет примерно половину от стационарного, который устанавливается через несколько часов. Для исследуемых трубок утечка гелия не должна превышать $2 \cdot 10^{-6}$ л*бар/с, что соответствует утечке $2 \cdot 10^{-7}$ л*бар/с по рабочей смеси Ar + 7%CO₂.



Рис. 11. Схема стенда проверки герметичности дрейфовой трубки

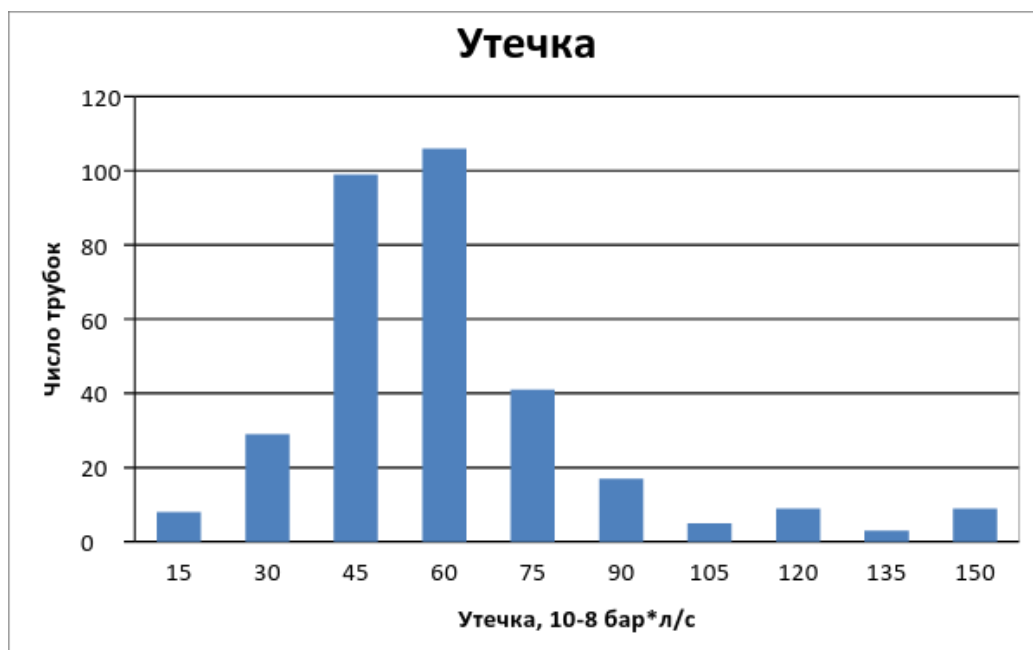


Рис. 12. Утечка гелия из трубок.

Среднее значение $5,4 \cdot 10^{-7}$ бар*л/с, среднеквадратичное отклонение $2,1 \cdot 10^{-7}$ бар*л/с. Результаты показывают, что по всем трубкам величина утечки находится в пределах допустимых значений.

5.5 Высоковольтные испытания

Для выявления возможных дефектов трубки проводятся высоковольтные испытания, в ходе которых на специальном стенде измеряется вольт-амперная характеристика трубки, заполненной атмосферным воздухом [6].

Трубки помещаются в защитную камеру стенда и подключаются к электрической цепи. Программа автоматически снимает вольт-амперные характеристики трубок сначала на увеличении напряжения, затем после выдержки при постоянном напряжении в течение двух минут - на снижении напряжения. Если трубка не удовлетворяет заложенным в программу критериям отбора, то производится процедура «реанимации» - тренировка трубки напряжением обратной полярности, при которой изменяется коммутация подводящих проводов к трубке в защитном коробе. После процедуры «реанимации» снова выполняется проверка, в случае нескольких неудачных попыток трубка бракуется.

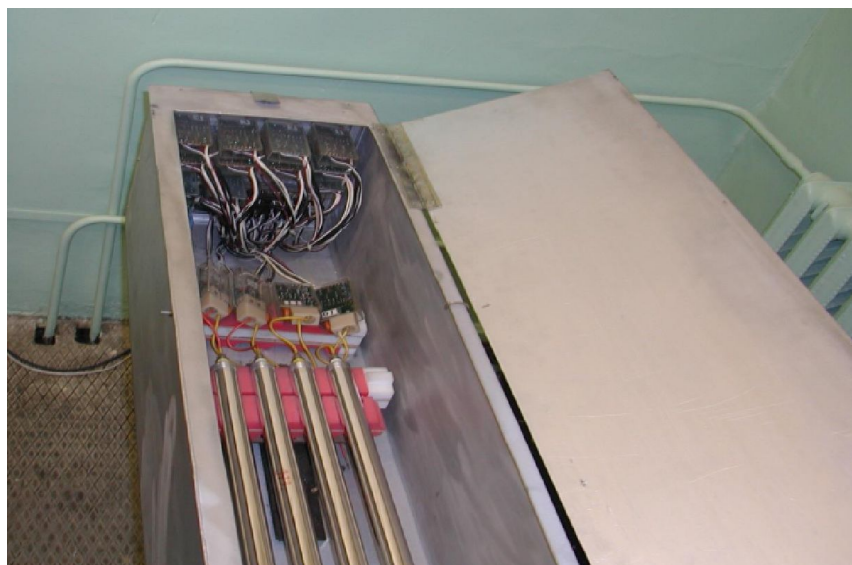


Рис. 13. Фотография защитной камеры для высоковольтных испытаний.

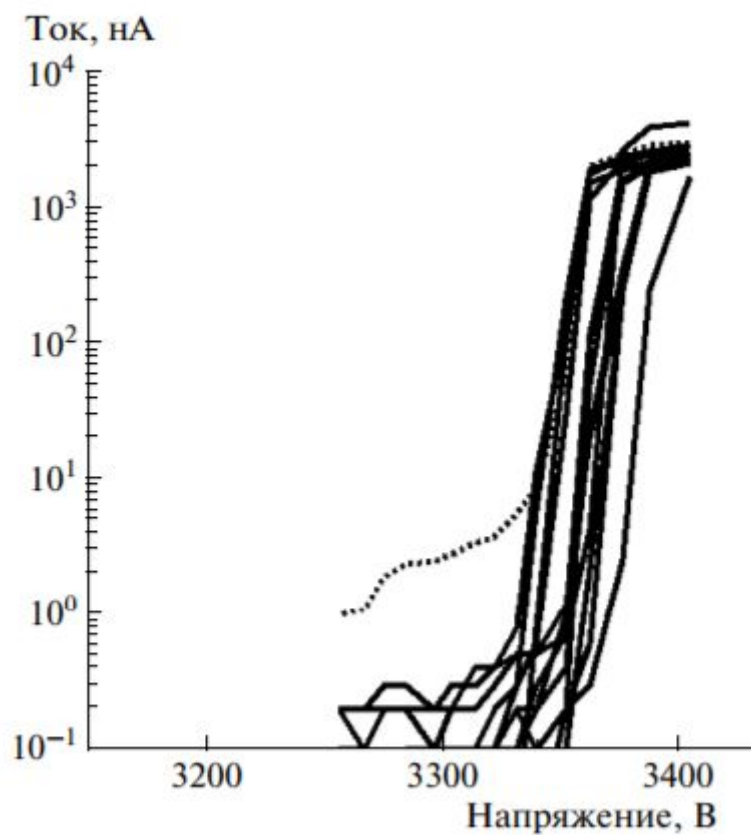


Рис. 14. Пример зависимости тока трубок от напряжения.



Рис. 15. Напряжение начала коронного разряда

Среднее значение 2977 В, среднеквадратичное отклонение 17 В.

5. Технология изготовления камер.

Камеры изготавливаются из трубок путём склейки заданного количества дрейфовых трубок между собой в трехслойные регистрирующие блоки с их последующим приклеиванием к несущей конструкции камеры [3]. Склейка камеры производится на специальном сборочном стапеле, оборудованном позиционирующими гребенками. Сначала в специальных посадочных местах на дальних сторонах стапеля устанавливаются и фиксируются две контактные металлизированные стеклотекстолитовые пластины с припаянными заземляющими проводами (количество заземляющих проводов соответствует количеству трубок в склеиваемом блоке), предназначенные для обеспечения общего земляного контакта торцевых заглушек дрейфовых трубок с электроникой. Двухкомпонентный клей (AW106+HV953U) наносится на контактные земляные пластины в места установки дрейфовых трубок и на позиционирующие гребенки и земляные пластины укладывается первый ряд трубок, при этом каждая дрейфовая трубка первого ряда укладывается сварным швом вверх. При помощи дозирующего пистолета производится точечное нанесение клея в места примыкания соседних трубок данного слоя друг к другу с интервалом 120 – 150 мм по длине трубки, а также в места касания торцевых элементов трубок и в места примыкания соседних трубок данного слоя к трубкам следующего слоя. Трубки второго слоя укладываются в каждую канавку между трубками первого слоя сварным швом вверх, затем на них наносится клей аналогично первому ряду. Два ряда дрейфовых трубок поджимаются при помощи латунных стержней для обеспечения плотной упаковки и надежного земляного контакта между торцевыми заглушками, после чего укладываются трубки последнего слоя

швом вниз, а клей наносится только в места склейки соседних трубок между собой в данном слое.

Собранный трехслойный блок трубок поджимается прижимной планкой сборочного стапеля. Для осуществления надежного земляного контакта между торцевыми элементами, в местах поджима камеры прокладывается полоса из лавсановой пленки, предотвращающая склейку камеры с прижимной планкой стапеля. Блок трубок выдерживается в сборочном стапеле не менее 20 часов до надежного затвердевания клея, затем вынимается из конструкции и проходит проверку на качество склейки.

С одной стороны склеенного камерного блока на крайние дрейфовые трубки каждого ряда надевается газовый соединитель. На сигнальный колпачок (контактный наконечник) надевается уплотнительное кольцо (резиновая прокладка) диаметром $\varnothing 10 \times 1.78$. Сигнальный колпачок накручивается на центральный пин. Аналогичная процедура выполняется на противоположной стороне камеры, но на дрейфовых трубках противоположного края. На свободные торцы всех дрейфовых трубок надеваются газовые переходники, обеспечивающие последовательное газовое соединение соседних в слое дрейфовых трубок. На сигнальные колпачки надеваются уплотнительные кольца. Сигнальные колпачки накручиваются на центральные пины всех свободных торцевых элементов дрейфовых трубок.

Для проверки герметичности блок дрейфовых трубок заполняется азотом при давлении 1,5 бар. Периодически (раз в сутки) измеряется давление в блоке, температура и атмосферное давление окружающей среды контролируются по данным метеостанции. По этим данным определяется скорость падения давления в камере [5].



Рис. 16. Фотография блока дрейфовых трубок в сборочном стапеле.

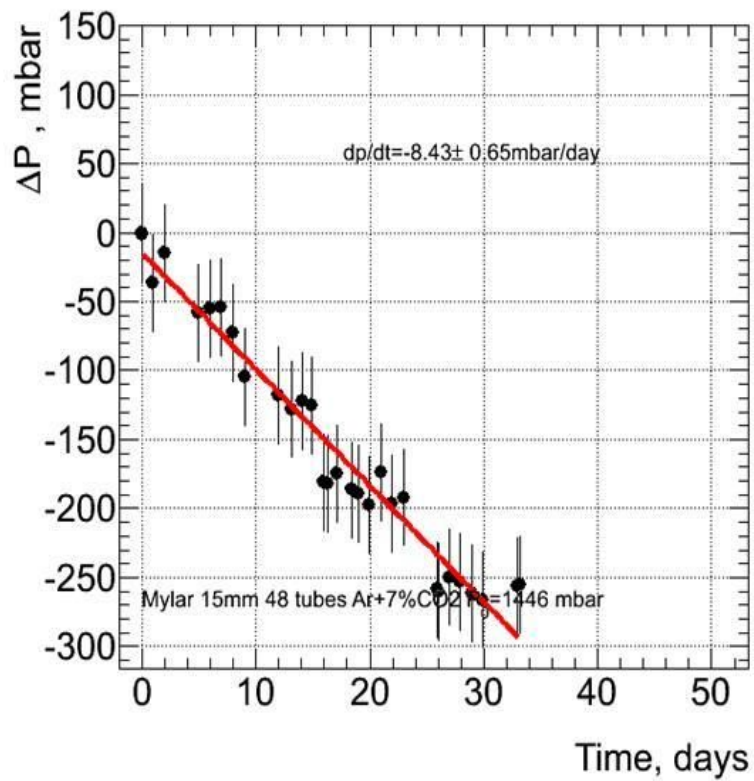


Рис. 17. Изменение давления в блоке камер с течением времени.

6 Заключение

В работе описаны принцип работы, конструкция, технологии производства и контроль качества лавсановых дрейфовых трубок диаметром 15 мм, а также прототипа дрейфовой камеры из них. Выполнены измерения различных характеристик трубок и камер, проведён анализ этих данных.

По результатам измерений можно сделать вывод о соответствии характеристик камер и трубок их номинальным характеристикам, а также об их стабильности во времени.

7. Список литературы

- 1) Sauli F, «Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers.» Yellow Report CERN 77-09 (1977)
- 2) Н.И.Божко и др. Прецизионная дрейфовая трубка в лавсановом корпусе. Препринт ИФВЭ 2012-3; ПТЭ, №2, 2013, с. 16-21.
- 3) Божко Н.И и др. Камера из прецизионных дрейфовых трубок в лавсановом корпусе. Приборы и техника эксперимента, 2014, N4, с. 410-416
- 4) М.Ю.Боголюбский и др. Система сбора данных и управления в стандарте электроники МИСС для детектора на дрейфовых трубках. Приборы и техника эксперимента, 2013, N2, с. 39-48
- 5) Разовый технический регламент “Производство мюонных камер из дрейфовых трубок малого (15 мм) диаметра.
- 6) Разовый технический регламент “Производство лавсановых дрейфовых трубок диаметром 15 мм”.