

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Нарваткина Анна Константиновна

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Отработка высоковольтных электродов MRPC на основе пленок
поликарбоната**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19304

Научный руководитель:

к.ф.-м.н., Д. М. Николенко

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

С. В. Туманов

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск 2020

Аннотация

Целью данной работы являлась отработка высоковольтных электродов, которые в дальнейшем будут использоваться в многоззорной резистивно-плоскостной камере, детекторе с высоким временным разрешением, для экспериментов по фотодезинтегрции дейтрона с внутренней поляризованной мишенью на накопителе электронов ВЭПП-3. Для этой цели были разработаны прототипы высоковольтных электродов на основе разных материалов и исследованы их характеристики. Проведены серии измерений сопротивления, что позволило определить характер зависимостей удельных сопротивлений от координаты для разных типов материалов, и выявить материалы, у которых удельное сопротивление попадает в интервал стандартных рабочих сопротивлений. На основе полученных данных построены графики зависимостей. Определены наиболее подходящие материалы, из которых в будущем будут изготавливаться высоковольтные электроды для MRPC. Ключевые слова: высоковольтные электроды, многоззорная резистивно-плоскостная камера, высокое разрешение, фотодезинтеграция дейтрона, внутренняя поляризованная мишень, ВЭПП-3.

Оглавление

1. Введение.....	4
2. Теоретическая часть.....	5
3. Экспериментальная часть.....	9
4. Заключение	14
5. Список литературы	14

1. Введение

Данная работа посвящена отладке и изучению устройства и принципа работы многоззорной резистивно-плоскостной камеры (MRPC) на основе пленок поликарбоната. MRPC – это детектор частиц, который имеет высокое временное разрешение (до 40 пс).

Детальное исследование дейтрона, самого простого из стабильных ядер, играет важную роль для проверки правильности представлений о свойствах сильных взаимодействий. Поляризационные наблюдаемые являются наиболее эффективным инструментом исследования в области фотоядерных реакций, потому что именно в них в первую очередь проявляются эффекты, интересные с точки зрения физики. Процессы фотодезинтеграции дейтрона выступают в качестве надежного теста для проверки моделей нуклон-нуклонного взаимодействия. К настоящему времени в лабораториях мира проведены ряд экспериментов по измерению поляризационных наблюдаемых реакции двух-частичной фотодезинтеграции дейтрона. Однако тензорная анализирующая способность измерялась только в ИЯФ. В проведенных измерениях на накопителе ВЭПП-3 максимальная энергия фотонов не превышала 500 МэВ. С введением в строй нового детектора и системы мечения появилась возможность значительного продвижения по энергии фотона – до 1500 МэВ. Тем самым предстоящие эксперименты могут существенно дополнить базу данных по этому фундаментальному процессу. Дальнейшая модернизация аппаратуры эксперимента связана, в том числе, с созданием системы измерения с высокой точностью времени пролета частиц.

В области больших энергий фотона возникает много «неупругих» процессов (с рождением пионов), которые препятствуют выделению событий двух-частичной фотодезинтеграции дейтрона. Ситуация также усугубляется в связи с резким падением сечения изучаемого процесса по мере роста энергии фотона. Одним из способов исключения фоновых событий является улучшение разрешения по времени пролета протона. Многоззорные резистивно-плоскостные камеры уже довольно широко применяются в различных физических экспериментах, обеспечивая довольно высокую точность временных измерений, и продолжают развиваться. Например, в настоящее время в Дубне идет активная работа по производству отработанных модулей MRPC для детектора MPD проекта НИКА, ОИЯИ Дубна. Российские группы из ОИЯИ имеют большой опыт в разработке MRPC. Их MRPC представляет собой тройной стек резистивных стеклянных пластин, ее схема представлена на рис. 1, где достигнуто разрешение на уровне 40 пс. В ИЯФ планируют повторить отработанную методику для создания детекторной системы, но также изучают

возможность создать прототип камеры на основе пленок поликарбоната. Это существенно удешевит камеру, а также уменьшит толщину камеры, тем самым увеличит область измерений, проводимых с частицами малых энергий. Многозачерные резистивно-плоскостные камере в дальнейшем будет использоваться в экспериментах с внутренней мишенью на накопителе ВЭПП-3.

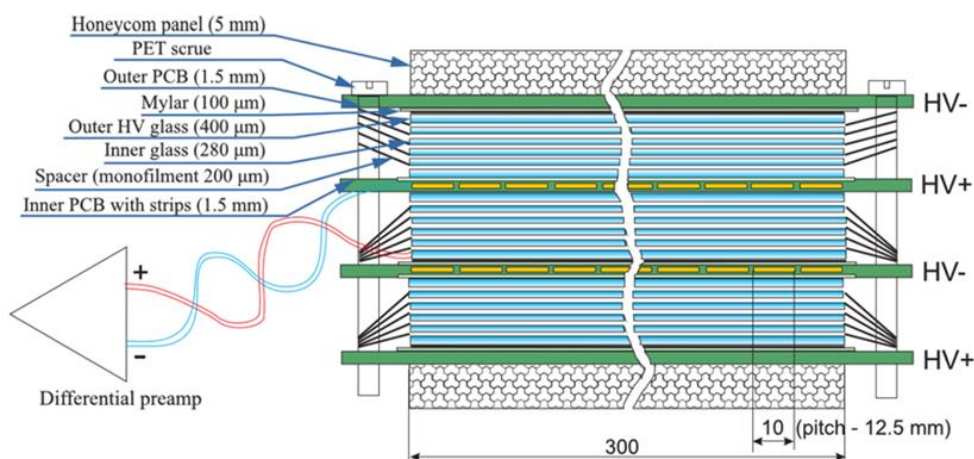


Рис. 1. Схема MRPC со стеклянными резистивными пластинами

Целью данной работы является отработка высоковольтных электродов, которые будут использоваться для создания прототипа MRPC.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- 1) Подобрать материал, подходящий для создания высоковольтных электродов для MRPC
- 2) Сделать образец для исследований из этого материала
- 3) Провести измерения характеристик данного образца
- 4) Проанализировать полученные данные

2. Теоретическая часть

Накопитель электронов ВЭПП-3 является частью ускорительного комплекса ВЭПП-4. Он будет поставлять электроны для экспериментов с внутренней газовой мишенью. Во время проведения экспериментов на ВЭПП-3 статистика набирается, практически, непрерывно, а доля времени для обновления пучка относительно мала. Внутренняя газовая мишень накопителя-это поляризованные атомы дейтерия, направленные в виде струи в Т-образную накопительную ячейку с открытыми краями. Отражаясь от стенок ячейки, атомы могут многократно пересекать циркулирующий через нее электронный пучок, увеличивая тем самым толщину мишени. Для задания направления поляризации, ориентации спина, на мишень будет накладываться однородное

магнитное поле, вдоль направления движения пучка электронов. В накопительной ячейке атомы испытывают определенное количество соударений с ее стенками, в результате чего поляризация уменьшается. Для определения средней поляризации атомов мишени будет использоваться так называемый LQ-поляриметр.

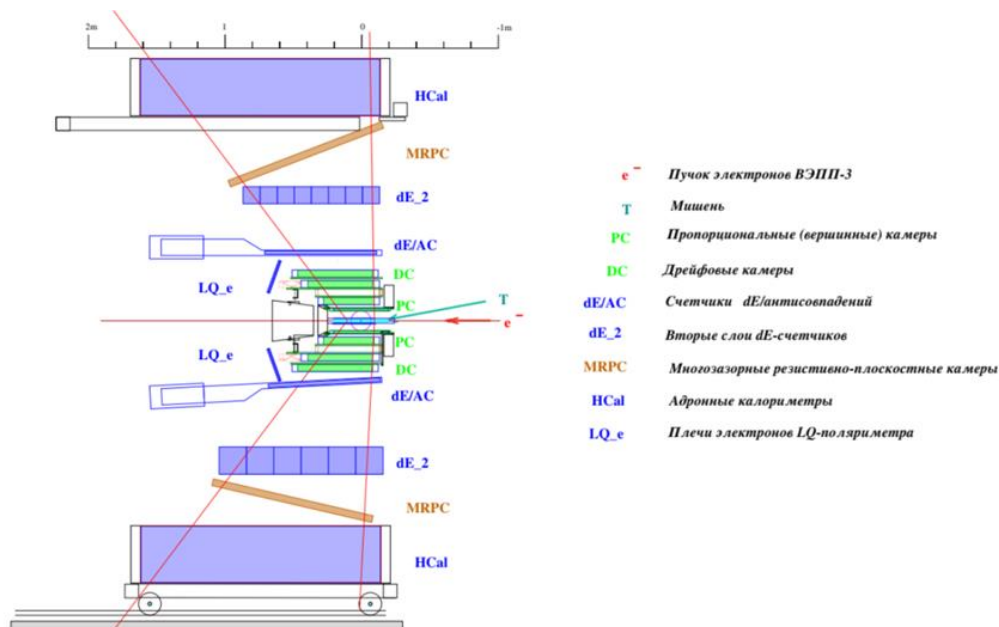


Рис. 2. Схема эксперимента на внутренней поляризованной мишени

Дифференциальное сечение процесса фотодезинтеграции дейтрона, помимо неполяризованной части, определяется тремя компонентами тензорной анализирующей способности реакции. При проведении эксперимента, электроны пучка накопителя иногда взаимодействуют с ядрами мишени при этом, в большинстве случаев электроны рассеиваются на малые углы. В таком случае, виртуальные фотоны, поглощённые ядром, принято называть квазиреальными фотонами, реакции, вызванные им, мало отличаются от реакций с реальными фотонами. Электроны, потерявшие в реакциях более половины первоначальной энергии, отклоняются от траектории пучка магнитным полем, их энергия измеряется системой мечения, что позволяет найти энергию квазиреальных фотонов. Протоны и нейтроны реакции фотодезинтеграции дейтрона регистрируются на совпадениях. Для регистрации используются два почти одинаковых детектирующих плеча, расположенных по возможности симметрично, по разные стороны пучка электронов ВЭПП-3 (рис. 2). Каждое из них включает трековую часть (вершинные и дрейфовые камеры), сцинтилляционный вето-счетчик в случае пролета нейтральных, они же dE-счетчики при пролете заряженных частиц, многоазорную резистивно-плоскостную камеру и сегментированный адронный калориметр-сендвич,

оптимизированный для регистрации нейтронов с высокой эффективностью и определение координат пролета нейтрона. Многозачорные резистивно-плоскостные камеры дают возможность получить хорошее качество измерений времени пролета заряженных частиц. С помощью MRPC улучшается идентификация заряженных частиц, и появляется возможность хотя бы грубо измерить энергию протонов.

Многозачорная резистивно-плоскостная камера состоит из нескольких слоев различной функциональности и нескольких металлических деталей, для размещения этих слоев и первичной электроники (FE), создания герметичного объема. Герметичность камеры необходима для поддержания стабильного

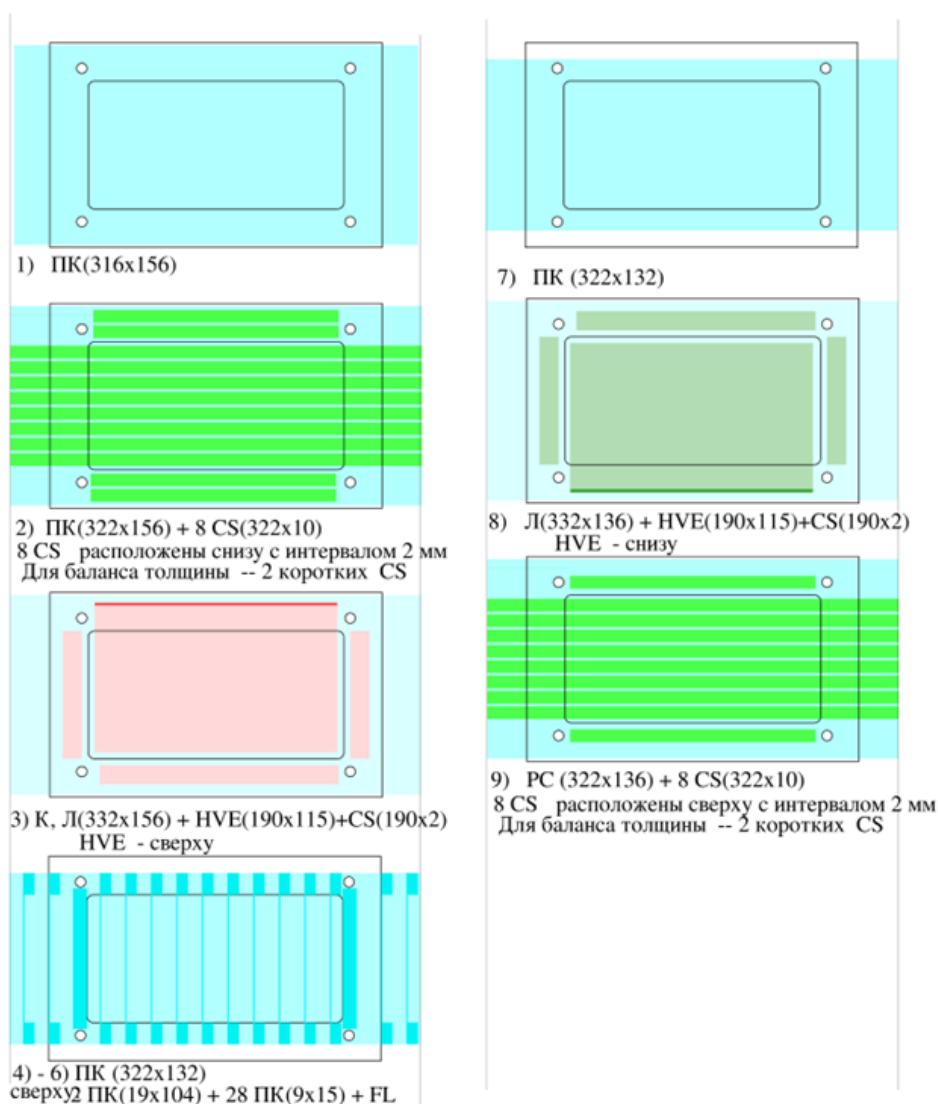


Рис. 3. Схема последовательных слоев MRPC, ПК-пленки поликарбоната, CS-медный скотч, +HVE и -HVE-высоковольтные электроды, Л и К-лавсан и каптон, FE-первичная электроника.

состава рабочего газа, которым она продувается, постепенно воздух замещается рабочим газом. Камера состоит из двух стеков. Как видно из рис. 4 слои расположены зеркально симметрично, где в центре стрипы (слой 9 на рис. 3).

Слои последовательно укладываются на плите, ее контуры обозначены на рис.3 черными линиями. Плита имеет посередине окно, которое заполнено сэндвич-панелью из легкого материала. Пленка поликарбоната (ПК) приклеивается к плите с уже вставленной сэндвич-панелью, обеспечивая герметичность в этой части конструкции (слой 1 рис. 3). Слои 2 и 9 состоят из пленок ПК и наклеенных на них стрипов из медного скотча (CS). Стрипы этих слоев, расположенные друг над другом, образуют полосковые линии. При работе камеры на них будут наводиться, сигналы, которые распространяясь по полосковой линии в обе стороны, доходят до концов стрипов, где будут располагаться FE. На слоях 3 и 8 размещаются высоковольтные электроды (+ и – соответственно). Состоят они из листов пленки лавсана или каптона и наклеенных на них электродов, слабопроводящих слоев. Слои 4 и 6 создают рабочие зазоры камеры. Каждый такой слой состоит из листа ПК, разделяющим зазоры камеры, прямоугольных отрезков ПК, размещенных поверх листов с шагом 2 см, и лесок, прилегающих к этим отрезкам. Диаметр лесок равен толщине ПК (250 мкм). ПК и прилегающие к ним лески приклеены вместе к листу ПК, они фиксируют рабочие зазоры.

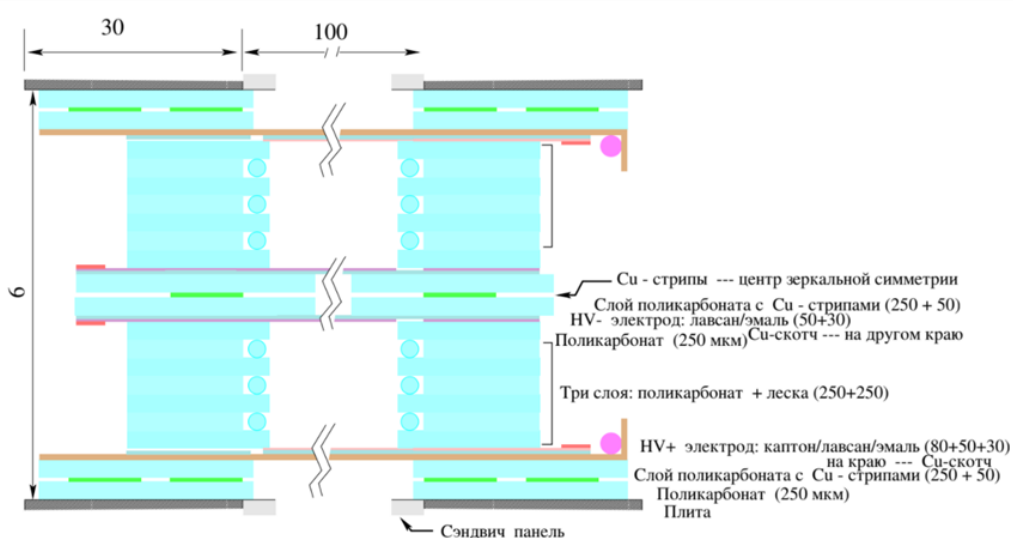


Рис. 4. Схема многозазорной резистивно-плоскостной камеры на основе пленок поликарбоната

MRPC работает в режиме лавинного усиления. После прохождения частицы через газовый зазор из кластеров первичной ионизации развивается лавинный разряд. Рассмотрим газовый промежуток между слоями из поликарбоната, к которому приложено внешнее поле. Детектируемая частица производит ионизацию в объёме детектора, свободные электроны начинают двигаться в газе, ускоряясь во внешнем электрическом поле. При достаточной достаточно большой напряженности поля за время между столкновениями электрона с

атомами (молекулами) рабочего газа, электрон успевает набрать энергию порядка величины потенциала ионизации, то есть энергии, достаточной для отрыва электрона от атома или молекулы, происходит ударная ионизация газа. В этом случае рождается еще один электрон, но при этом и первый электрон остается свободным. Теперь еще два электрона разгоняются до энергии, достаточной для ионизации, и еще раз ионизуют газ. Очевидно, что после повторения этого процесса N раз число электронов возрастет в 2^N . Этот процесс называется лавинной ионизацией газа. Пленка поликарбоната обладает объёмным сопротивлением, это значит, что через неё текут объёмные токи, что способствует процессу рекомбинации. Когда образовавшаяся лавина подходит к пленке поликарбоната, происходит рекомбинация электронов лавины с положительными ионами на другой стороне пленки. Резистивные пластины останавливают развитие лавины. В качестве материала резистивных пластин используется поликарбонат, который имеет достаточно большое сопротивление для минимизации токов утечки, приводящие к образованию пробоев в детекторе.

Высоковольтные электроды, через которые наводится сигнал на стрипы, должны обладать высоким сопротивлением и быть прозрачными для сигнала, то есть пропускать наведенный сигнал.

Многозазорность делается для увеличения эффективности, а для достижения хорошего временного разрешения зазоры делаются маленькими. При больших зазорах между резистивными пластинами электронная лавина может перерасти в стримерный режим. Стример - тускло светящиеся тонкие разветвленные каналы, которые содержат ионизированные атомы газа и отщепленные от них свободные электроны. Стримеры, удлиняясь, перекрывают разрядный промежуток и соединяют электроды непрерывными проводящими нитями. Происходящее затем превращение стримеров в искровые каналы сопровождается резким возрастанием силы тока. Излучение стримеров может привести к ложным сигналам на стрипах.

MRPC работает при большой напряженности электрического поля внутри газового зазора. Но эта величина не должна превышать минимальную напряженность электрического поля, при которой наступает пробой в резистивной пластине. При больших энергиях пробой могут вызвать срабатывание на стрипах.

3. Экспериментальная часть

В данной серии экспериментов обрабатывались два разных типа прототипов будущих высоковольтных электродов. Первый вид прототипов изготавливался из листа лавсана толщиной ~ 100 мкм, на который краскопультom наносилась

смесь эмали и графита. Вторым видом прототипов был лист черной бумаги толщиной 80-90 мкм. Размеры высоковольтных электродов, которые будут использоваться в МРПК: 190 мм-длина, 115 мм-ширина.

На рис. 5 показана фотография экспериментальной установки. На подставку из гладкого непроводящего материала помещается лист бумаги, на котором изображены координатные оси ОХ и ОУ. Лист бумаги закрепляется по краям. Выбирается одинаковый масштаб на осях, в данном случае расстояние между значениями на каждой оси 2 см. На этот лист помещается прототип электрода. Между бумагой и электродом прокладывается слой ткани, это обеспечивает хорошее прилегание контактов щупа к исследуемому образцу. Так же оба контакта щупа плотно прижимаются одновременно к образцу.



Рис. 5. Фотография экспериментальной установки

Круглым щупом (рис. 6) измеряется сопротивление между его контактами, чтобы перейти к удельному поверхностному сопротивлению, находится коэффициент пересчета k .

Между электродами берется полоса с шириной от r до $r + dr$, ее длина $2\pi r$. Полоса представляет собой параллельное соединение квадратов ($dr \times dr$), из этого следует, что полное сопротивление полосы $R_1 = \frac{\rho}{n} = \frac{\rho dr}{2\pi r}$, где ρ - сопротивление квадрата, $n = \frac{2\pi r}{dr}$ число квадратов. Удельное поверхностное сопротивление равно сопротивлению одного квадрата. Область электрода между контактами щупа представляет собой последовательное соединение таких полос, тогда полное сопротивление этой области $R = \frac{\rho \int_a^b \frac{dr}{r}}{2\pi} = \frac{\rho \ln \frac{b}{a}}{2\pi}$.

Отсюда $\rho = \frac{2\pi R}{\ln \frac{a}{b}}$, тогда $k = \frac{2\pi}{\ln \frac{b}{a}}$, где $a = 12$ мм и $b = 25$ мм концентрические диаметры между проводниками щупа, $k = 9$



Рис. 6. Фотография круглого щупа, которым измеряется сопротивление электродов

Щуп помещается на поверхность электрода, измерения сопротивления проводились с интервалом 2 см как по оси X, так и по оси Y. Использовался мегометр FLUKE 1520 MegOhmMeter при напряжении 1000 V. После этого составляется таблица значений, где учитывается коэффициент пересчета, для каждого образца (таблица 1 и таблица 2).

Таблица 1. Распределение сопротивление вдоль оси OX с неизменной координатой y с шагом 2 см (по оси X и по оси Y) для всей поверхности черной бумаги

x	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
y1	2	22,5	22,5	24,3	22,5	23,4	23,4	24,3	23,4	22,5	22,5
y2	4	18,9	19,8	22,5	23,4	22,5	25,2	23,4	23,4	22,5	20,7
y3	6	17,1	18,9	21,6	29,7	19,8	32,4	27,9	33,3	27,9	25,2
y4	8	20,7	20,7	18,9	18,9	23,4	25,2	29,7	25,2	24,3	27,9
y5	10	18,9	20,7	17,1	21,6	28,8	21,6	28,8	27,9	23,4	20,7
y6	12	18	19,8	17,1	24,3	18,9	18,9	19,8	21,6	19,8	19,8

Таблица 2. Распределение сопротивление вдоль оси OX с неизменной координатой y с шагом 2 см (по оси X и по оси Y) для всей поверхности лавсана

x	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
y1	2	3,96	4,14	4,68	4,32	5,85	6,66	6,57	6,66	5,49	5,58
y2	4	3,33	4,14	4,86	3,6	5,04	3,96	4,77	4,68	5,22	4,32
y3	6	3,24	3,06	3,42	3,6	3,33	2,88	3,6	2,97	3,24	2,61
y4	8	2,97	2,88	2,61	2,43	2,88	2,43	2,34	2,7	2,61	2,07
y5	10	2,16	2,25	2,25	2,07	3,24	2,97	2,88	2,07	2,61	3,06
y6	12	2,34	2,7	2,25	2,43	2,61	2,88	2,61	2,07	2,97	2,43

Из рис. 7 и рис. 8 видно, что поверхностное удельное сопротивление довольно неоднородно распределено по поверхностям черной бумаги и лавсана с напылением эмали и графита, но электроды с таким распределением могут использоваться в камерах с загрузками, которые ожидаются во время экспериментов на ВЭПП-3. Неоднородность может возникнуть из-за неравномерного напыления смеси графита и эмали на лист лавсана. Для работы камеры при малых и средних загрузках (до единиц $\text{кГц}/\text{см}^2$) поверхностное сопротивление электродов должно лежать в пределах от единиц до ~ 100 МОм на квадрат. При больших загрузках (десятки $\text{кГц}/\text{см}^2$), когда токи, протекающие через камеру, становятся заметными, следует использовать электроды с сопротивлением единиц МОм и соблюдать его однородность в пределах $\sim 10\%$. В экспериментах на ВЭПП-3 ожидаемые загрузки не должны превышать ~ 100 Гц/ см^2 . Из рис. 9 видно, что все значения сопротивлений образцов из черной бумаги и листа лавсана с эмалью и графитом попадают в интервал рабочих сопротивлений, это показывает, что каждый из этих образцов можно использовать в прототипе многозазорной резистивно-плоскостной камере.

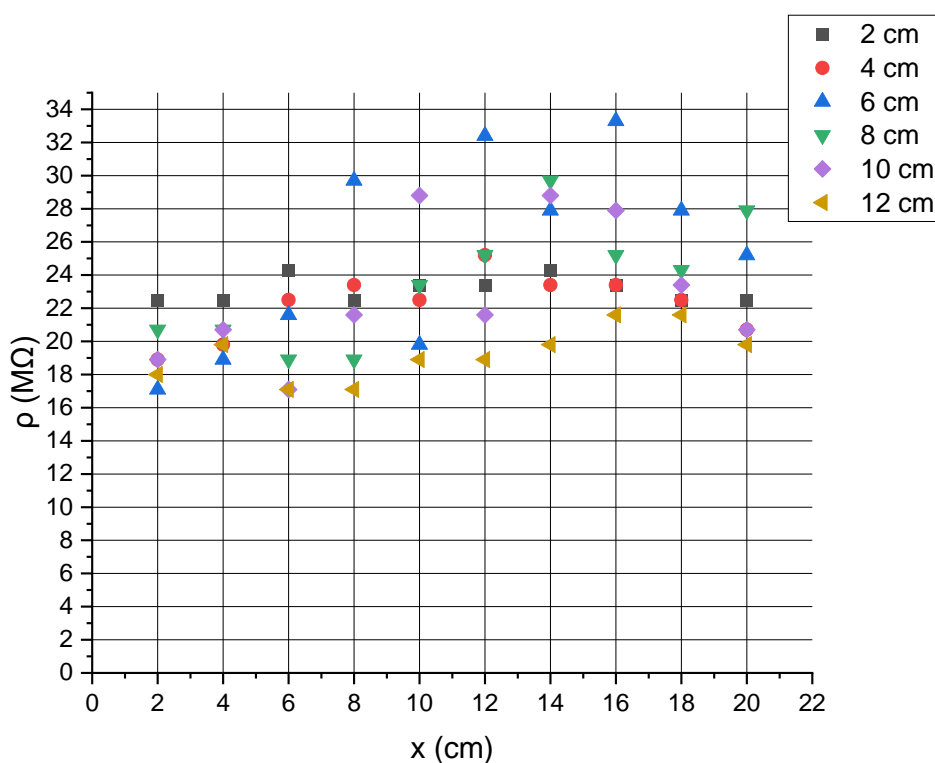


Рис. 7. Зависимость сопротивления от координат x (цветом обозначена координата y), лист черной бумаги

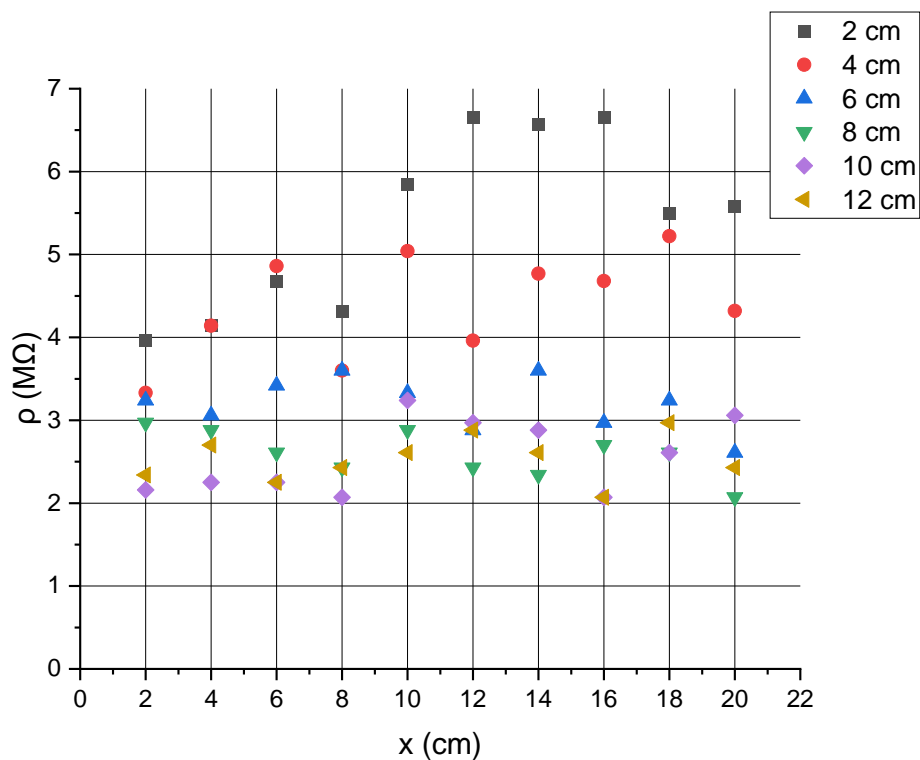


Рис. 8. Зависимость сопротивления от координат x (цветом обозначена координата y), лист лавсана

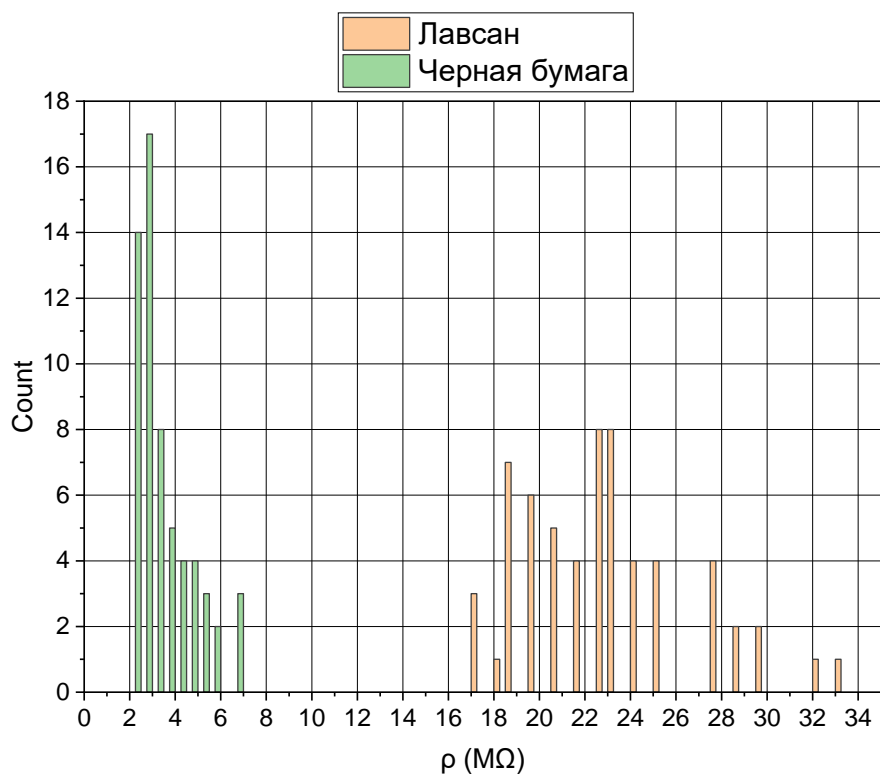


Рис. 9. Гистограмма значений поверхностных сопротивлений для двух образцов электродов

4. Заключение

В ходе работы был изучен принцип работы многоззорной резистивно-плоскостной камеры, которая в дальнейшем будет использоваться для экспериментов на ВЭПП-3 с поляризационной внутренней мишенью. Были найдены материалы для высоковольтных электродов, которые будут использоваться в прототипе MRPC. Сделаны и исследованы образцы из черной бумаги и лавсана, на который напылялась эмаль с добавлением графита. Из этих образцов были выделены два наиболее подходящие для дальнейшей работы. У этих образцов удельное сопротивление попадает в интервал стандартных рабочих сопротивлений и достаточно равномерно распределено по поверхности.

5. Список литературы

1. D.M. Nikolenko et al, Tensor Observables in Electro- and Photoreactions on the Deuteron. Phys.Part.Nucl. 48 (2017) 102-110
2. Werner R., Christian L., Rob V. Detector physics and simulation of resistive plate chambers. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 500 (2003) 144–162.