

# Диплом

# Введение

Развитие экспериментальных методов ядерной физики привело к появлению большого количества детектирующих систем. Отдельно стоит выделить координатные детекторы, по которым до сих пор ведутся активные исследования. Главными направлениями являются повышение эффективности регистрации и пространственного разрешения [1].

Широкое распространение новых материалов и методов их обработки многократно улучшило параметры имеющихся детектирующих устройств, а так же позволило создавать детекторы новых конструкций. Так в 1997 г. группа ученых из Европейского центра ядерных исследований (CERN) под руководством Ф.Саули успешно применила концепцию газового электронного умножения в микроструктурах для создания координатных детекторов, которые получили название «GEM-детекторы» или газовые электронные умножители [2]. Их отличительными особенностями являются сравнительная простота конструкции, коэффициент усиления вплоть до  $10^6$ , а так же высокая радиационная стойкость. Данный тип детекторов широко используется в таких экспериментах, как RHOENIX (Франция), COMPASS (Швейцария), а так же в составе детекторов LHSb, TOTEM (ЦЕРН) и КЕДР (ИЯФ СО РАН).

В ИЯФ микроструктурные детекторы широко применяются не только в составе детекторов для экспериментов в ФЭЧ (КЕДР, СНД и КМД-3), но и в различных системах, связанных с ними. Одной из таких систем является установка «лазерный поляриметр». В основе её работы лежит предложенный в 1975 г. в ИЯФ метод резонансной поляризации [3]. Применяется данная система для прецизионного измерения энергии на коллайдере ВЭПП-4М.

В рамках работ по усовершенствованию «лазерного поляриметра» планируется установить дополнительный массив координатных детекторов, которые должны обладать низкой плотностью, высокой эффективностью регистрации, достаточными пространственным и временным разрешением. Для выполнения данной задачи было решено использовать GEM-детекторы [4]. В ИЯФ существует возможность изготовления таких детекторов с использованием GEM-электродов, производимых в CERN. Таким образом, возникает необходимость в исследовании новых моделей GEM-детекторов.

**Целью данной работы** являлось создание и исследование характеристик GEM-детектора для установки «лазерный поляриметр». Понимание физических процессов работы детектирующей системы, организацию модуля сбора данных, а также особенностей их анализа дает наиболее полную информацию о точности измерений. Для достижения поставленной цели были сформулированы основные задачи, которые определили ключевые направления деятельности:

- Изучение физических основ работы газовых электронных умножителей и основных схем GEM-детекторов

- Определение основных параметров, влияющих на коэффициент усиления детектора
- Установка, настройка и управление механизацией детектора
- Создание и отладка системы сбора и обработки данных.
- Проведение экспериментов на выведенном пучке, в ходе которых исследованы физические характеристики детектора
- Обработка и анализ полученных данных

# Предел Рейтера и его зависимость от электрического поля в индукционном промежутке

## 2.1 Определение предела Рейтера

Существенным параметром, который необходимо принимать во внимание при изготовлении детектора для маленьких загрузок, является коэффициент усиления. В случае с детекторами, построенными с использованием ГЭУ, существует две основных сх. достижения высоких коэффициентов усиления:

- **Одноэлектродная схема:** использование одного электрода под напряжением, близким к предельному.
- **Многоэлектродная схема:** использование каскада последовательно расположенных электродов с более низкими, по сравнению с одноэлектродной схемой, напряжениями на них.

На первый взгляд, многоэлектродная схема может обеспечить гораздо большие коэффициенты усиления. Однако существует физический предел на максимальное количество заряда в электронной лавине, называемый пределом Рейтера. Если суммарный заряд (первичная и вторичная ионизация) превышает значение этого предела, то вероятность возникновения разряда резко возрастает. Предел Рейтера зависит от количества первичной ионизации, типа газовой смеси, а также от геометрии разрядного промежутка. В случае с параллельным промежутком диапазон значений составляет [5]

$$Q_{max} = 10^6 - 10^7 e. \quad (1)$$

Последние эксперименты показали, что возможно существует ещё один параметр, который может влиять на значение предела Рейтера - напряжённость электрического поля в промежутке между электродами детектора вставить ссылку. Нами было решено проверить данную зависимость т.к. она потенциально может дать ответ на вопрос о том, какая схема детектора обеспечивает наибольший коэффициент усиления, а также является наиболее надёжной уточнить. Под надёжностью понимается величина, дополнительная к вероятности возникновения пробоя при заданных параметрах эксперимента: конфигурации детектора и характеристик источника ионизации.

Идея проверки заключалась в следующем: в параллельный промежуток инжектировались частицы первичной ионизации. В нем под действием приложенного поля происходила вторичная ионизация. В предположении зависимости предела Рейтера от поля количество первичных частиц, необходимых для наступления пробоя тоже зависело бы от поля, что можно было бы идентифицировать по изменению тока с электрода-коллектора

Для проведения экспериментов был создан тестовый образец детектора, схему которого можно видеть на Рис.??? Он состоит из четырёх основных

элементов: катодного электрода, усиливающего ГЭУ, инжектирующего ГЭУ и анодного электрода-коллектора. Принцип работы детектора следующий:

1. В дрейфовом промежутке с помощью внешнего радиоактивного источника создаётся первичная ионизация.
2. Под действием дрейфового поля электроны ионизации устремляются к усиливающему ГЭУ.
3. При прохождении через ГЭУ количество электронов увеличивается в зависимости от приложенного на него напряжения. Так обеспечивалась изменение "эффективной активности" источника.
4. Электроны вторичной ионизации инжектируются через второй ГЭУ в индукционный промежуток.
5. В индукционном промежутке происходит образование электронных лавин, которые попадают на электрод-коллектор.
6. По току с коллектора можно определить пробой и зафиксировать значения первичной ионизации в индукционном промежутке и электрического поля.

## 2.2 Изготовление детектора

Рассмотренная выше схема была применена при конструировании тестового детектора. Сначала из СТЭФ толщиной 1.5 мм были изготовлены рамки для размещения на них электродов ГЭУ. Чтобы обеспечить большую прозрачность для катодного электрода использован фольгированный СТЭФ толщиной 0.1 мм. Между катодом и усилительным ГЭУ расстояние составило 1.5 мм, между усилительным и инжектирующим ГЭУ — 3 мм. Размер параллельного промежутка был 1.5 мм.

Усилительный ГЭУ изготовлен из полиимидной плёнки толщиной 200 мкм, покрытой с двух сторон 5 мкм слоем меди. Размер отверстий — 70 мкм, шаг — 140 мкм [2]. Инжектирующий ГЭУ с целью увеличения прозрачности был использован с большим размером отверстий *Каким???*. Каждый электрод сначала приклеивался на рамку с помощью эпоксидной смолы. После этого рамки собирались вместе и проклеивались смолой на стыкующихся поверхностях и снаружи для обеспечения герметичности. Рабочий газ подводился по фторпластовым трубкам, которые были закреплены в нижней и верхней рамках.

Считывающая структура представляла собой пластину фольгированного СТЭФ, размещаемую под инжектирующим ГЭУ. Параллельный промежуток составляли нижний электрод ГЭУ и электрод-коллектор. Для уменьшения влияния статических электрических полей на детектор, он был помещён в

корпус из алюминия, имеющий высоковольтные разъёмы типа LEMO для питания электродов и патрубки для подачи и отвода рабочего газа.

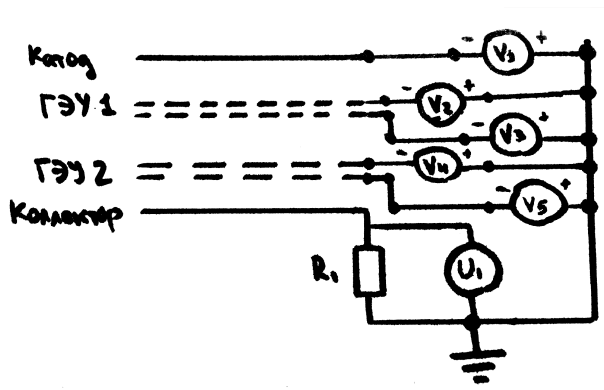


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема детектора для проверки предела Рейтера. (Я её перерисую в редакторе)

Принципиальную схему детектора можно видеть на Рис.1. Напряжение на каждый электрод подавалось с отдельного источника питания ( $V_1 - V_5$ ), что обеспечивало гибкую настройку системы. Ток с электрода-коллектора протекал через резистор  $R_1$ , падение напряжения на котором регистрировалось вольтметром  $U_1$ .

## 2.3 Проведение эксперимента

Для создания первичной ионизации в дрейфовом промежутке использовался радиоактивный изотоп  $^{109}\text{Cd}$  с активностью  $10^8$  Бк. Уточнить или измерить, который излучает преимущественно фотоны с энергиями 22.1 keV (82.6 %) и 25.0 keV (14.7 %) который помещался сверху на катодную пластину детектора.

## 2.4 Результаты

Первые эксперименты показали, что критическое напряжение, при котором начинаются пробои, действительно зависит от поля в индукционном промежутке. На Рис. 2

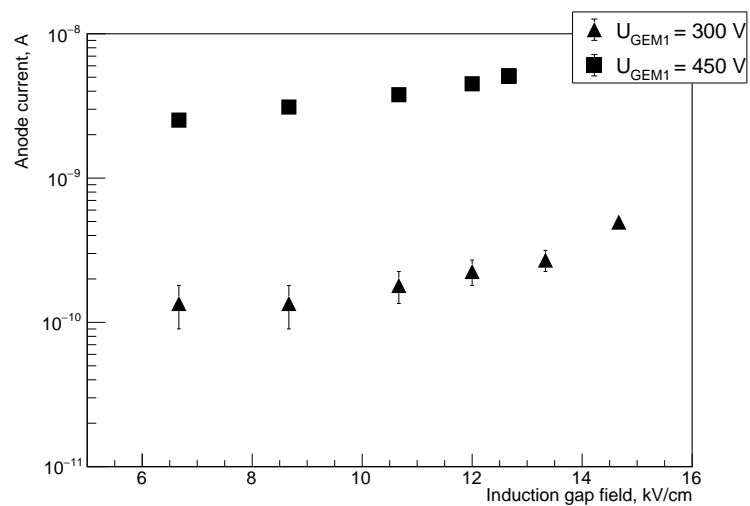


Рис. 2. Зависимость тока с электрода-коллектора от поля в индукционном промежутке. Напряжение на ГЭУ1 определяет количество частиц первичной ионизации.

## Список литературы

- [1] Шехтман Л.И. Быстродействующие координатные газовые детекторы высокого разрешения. 2012.
- [2] Sauli F. A new concept for electron amplification in gas detectors. 1997.
- [3] Букин А.Д. Дербенев Я.С. Кондратенко А.М. и др. Препринт № 75-64 ИЯФ СО АН СССР. 1975.
- [4] T.Maltsev V.Bobrovnikov V.Kudryavtsev L.Shekhtman. Development of high-resolution GEM-based detector for the extracted electron beam facility at the VEPP-4M collider. 2017.
- [5] Fonte V. Peskov P. Research on discharges in micropattern and small gap gaseous detectors. 2019.