

Лабораторная работа № 4.

Газовый цилиндрический счётчик.

Кафедра физики ускорителей

Вероника Бояркина, Вячеслав Федоров, Анна Шуклина

Теория

В данной работе исследуется газовый цилиндрический счетчик, состоящий из металлического цилиндрического катода диаметром 20 мм и анодной проволоки диаметром 0.05 мм, расположенной на оси цилиндра. Пространство между катодом и анодом заполнено газовой смесью при атмосферном давлении, состоящей обычно из благородного газа (аргон, неон, криптон) и многоатомной органической добавки (изобутан, метан, эфир, н-пентан и т.д.). Между катодом и анодом создается разность потенциалов, величина которой выбирается в зависимости от режима работы счетчика: ионизационная камера, пропорциональный, стримерный, Гейгера–Мюллера, искровой.

Между катодом и анодом создается разность потенциалов, величина которой выбирается в зависимости от режима работы счетчика: ионизационная камера, пропорциональный, стримерный, Гейгера–Мюллера, искровой. На рис. 4.1 приведена зависимость тока с анодной проволоки от приложенного напряжения при облучении счетчика α -частицами и электронами. В области I электроны и ионы первичной ионизации успевают частично рекомбинировать за время дрейфа в зазоре между катодом и анодом. При увеличении разности потенциалов вероятность рекомбинации уменьшается, что приводит к росту тока. Область I называют областью рекомбинации. В области II процессами рекомбинации можно пренебречь и вся первичная ионизация доходит до электродов, и ток с анодной проволоки не меняется. В этом диапазоне напряжений цилиндрический счетчик работает в режиме ионизационной камеры. В области IIIa начинается процесс газового усиления [1]. В результате этого ток с анодной проволоки начинает экспоненциально возрастать в зависимости от напряжения на счетчике, при этом сигнал с анодной проволоки пропорционален величине первичной ионизации. В области ограниченной пропорциональности IIIb пропорциональность нарушается из-за пространственного заряда вблизи анодной проволоки. Далее, в зависимости от состава газа, используемого в счетчике, возможны два режима работы. В первом случае из области ограниченной пропорциональности счетчик плавно переходит в режим Гейгера–Мюллера (IV), при этом сигнал с анодной проволоки не зависит от величины первичной ионизации. Указанием на начало области Гейгера–Мюллера можно считать то обстоятельство, что величина импульса для частиц с разной ионизирующей способностью, таких как α - и β -частицы, становится одинаковой. Во втором случае при увеличении напряжения наблюдается скачкообразное увеличение амплитуды сигнала с анодной проволоки и его дальнейший экспоненциальный рост. При этом зависимость амплитуды сигнала с анодной проволоки от величины первичной ионизации и типа частицы исчезает. Этот режим называется стримерным — область V. При дальнейшем увеличении напряжения в счетчике загорается разряд или происходит искровой пробой — область VI.

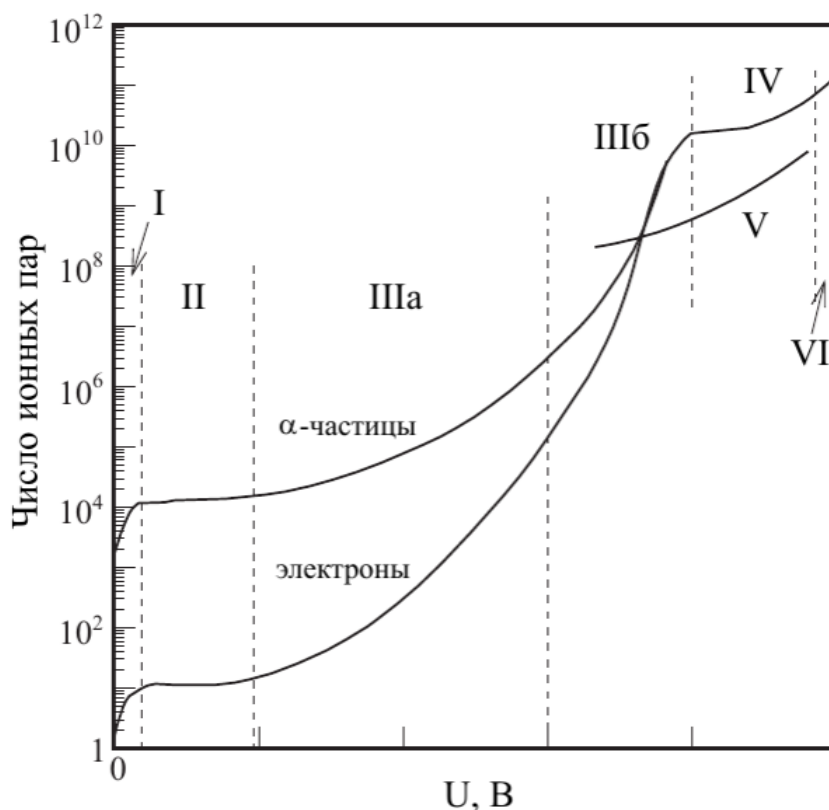


Рис. 4.1: Зависимость числа зарегистрированных ионных пар от приложенного напряжения для α -частиц и электронов в цилиндрическом газовом счётчике. I — область рекомбинации; II — режим ионизационной камеры; IIIa — область пропорциональности; IIIб — область ограниченной пропорциональности; IV — режим Гейгера-Мюллера; V — стримерный режим; VI — область разряда.

Описание работы

Используемое оборудование

В работе используется два газовых цилиндрических счетчика, состоящих из металлического катода диаметром 20 мм и анодной проволоки из позолоченного вольфрама диаметром 50 мкм. Счётчики работают на газовой смеси аргон-изобутан в соотношении 70:30 при атмосферном давлении. Они расположены в металлическом корпусе. Трубка 1 облучается изотопом ^{55}Fe (гамма-кванты $E = 6$ кэВ), а трубка 2 изотопом ^{90}Y ($E_{\text{max}} = 2.3$ МэВ). Высокое напряжение подается на проволочный анод счетчика, а с другого конца проволоки через ёмкостную развязку снимается сигнал, который поступает на вход зарядочувствительного предварительного усилителя (ПУ), расположенного в этом же корпусе. Для того, чтобы избежать ограничения усиления ПУ, сигнал на его входе может ослабляться резистивным делителем. Делитель включается тумблером на лицевой панели корпуса. С выхода ПУ парафазный сигнал по витой паре в экране поступает в блок ТА, где он дополнительно усиливается и подается на дискриминатор с фиксированным порогом. С выхода А можно наблюдать усиленный сигнал с анодной проволоки, а с выхода Т — логический сигнал после дискриминатора. Блок ТА также служит для подачи питающего напряжения на ПУ. Аналоговый сигнал с блока ТА через управляемый аттенюатор подается на вход зарядово-цифрового преобразователя (ЗЦП), а логический сигнал — на формирователь логических импульсов, который выдает управляющий сигнал "ворота" для ЗЦП.

В работе используются модули электроники в стандарте КАМАК производства ИЯФ СО РАН. Управление электроникой и считывание информации происходит с помощью компьютера. С помощью аттенюатора можно управлять амплитудой сигнала после предусилителя, ослабляя его на заданное количество децибел с шагом 3 дБ. Максимальное ослабление одного аттенюатора составляет 45 дБ. Это нужно для согласования амплитуды сигнала с динамическим диапазоном ЗЦП.

Блок ЗИФ имеет два канала, из которых используется один в качестве формирователя логических импульсов. Блок служит для формирования управляющего сигнала ЗЦП, в течение которого ЗЦП интегрирует входной сигнал. При запуске управляющей программы длительность управляющего импульса устанавливается в подходящее значение. В работе также имеется осциллограф, с помощью которого можно наблюдать сигнал со счётчика.

Программное обеспечение

Для управления электроникой используется специальная программа, написанная на современные среды для анализа физических данных ROOT [3]. Она позволяет управлять всеми блоками КАМАК с помощью наглядного графического пользовательского

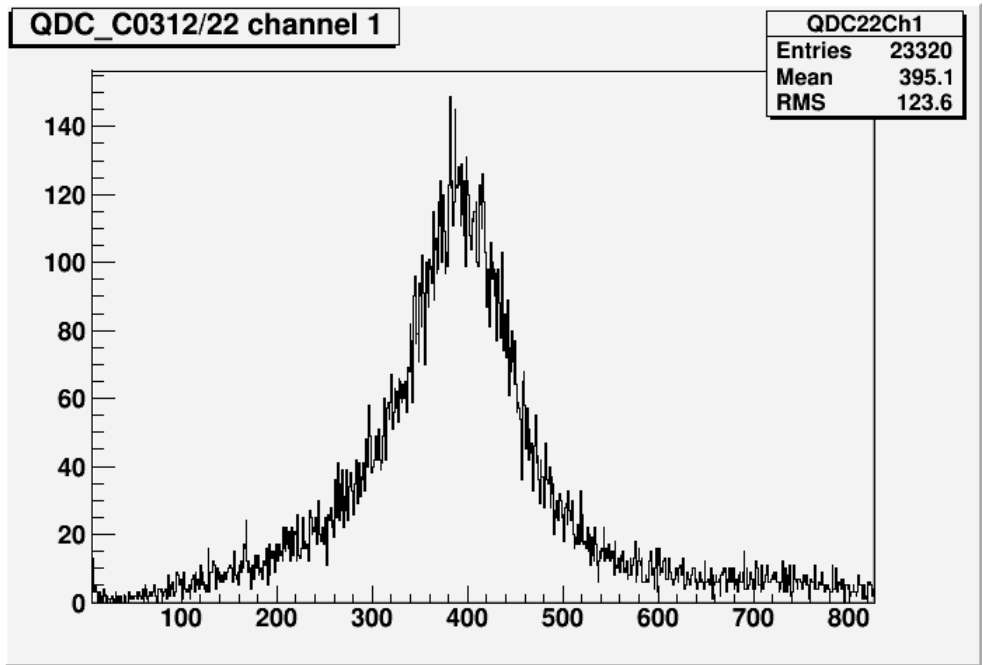
интерфейса (ГПИ), набирать гистограмму амплитудного распределения с ЗЦП и анализировать ее, используя стандартные средства ГПИ ROOT.

В окне прямоугольника- ми изображены интерфейсы управления блоками КАМАК. Относительный размер и рас- положение прямоугольников соответствует позиции и ширине соответствующих блоков электроники в крейте КАМАК. Кроме того, многоканальные блоки имеют интерфейсы управления каналами, которые графически расположены в соответствии с физическим расположением каналов на лицевой панели блоков. Интерактивные элементы ГПИ стан- дартны и включают: кнопки, радиокнопки, переключатели и текстовые поля. Управление программой требует базовых навыков работы с графическими интерфейсами.

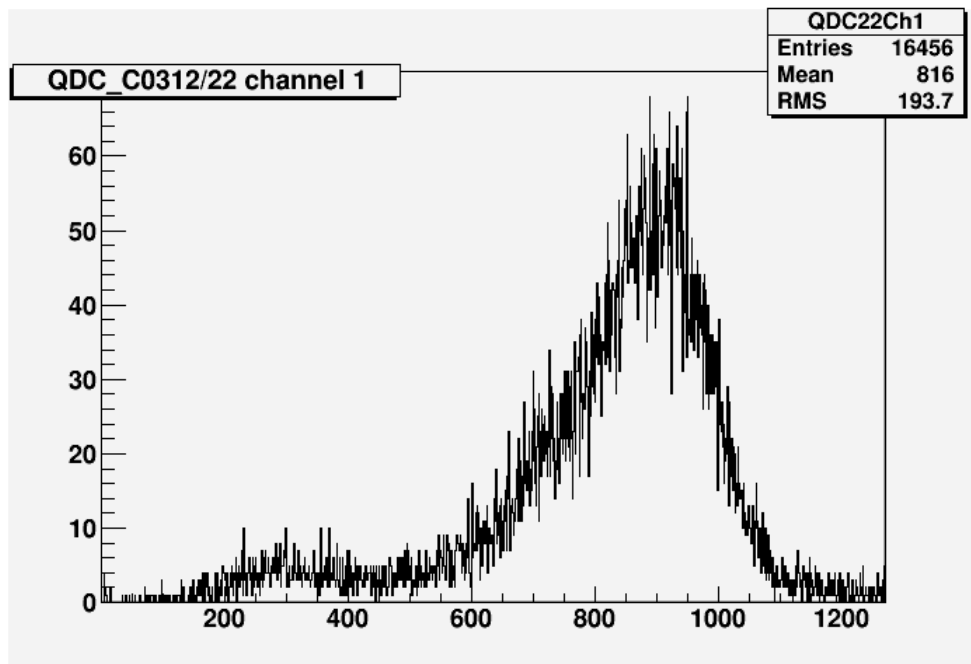
Задания

1. Снять амплитудные спектры с анодной проволоочки с изотопом ^{55}Fe на трубке 1 начиная с напряжения на счетчике 1.9 до 2.7 кВ с шагом 100 В. Измерения прово- дить согласно схеме на Рис. 4.3. Подбирая коэффициент ослабления на аттенуаторе, добиться набора спектра на ЗЦП, так чтобы максимальный пик спектра находил- ся вблизи середины амплитудной шкалы. При больших амплитудах в счётчике 1 необходимо использовать резистивный делитель. Необходимость его использования определите по осциллографу. При достаточно большом напряжении прокалибруйте ослабление делителя по амплитудным спектрам. Пронаблюдайте изменение спектров в пропорциональном, в переходном и в стримерном режимах работы трубки.

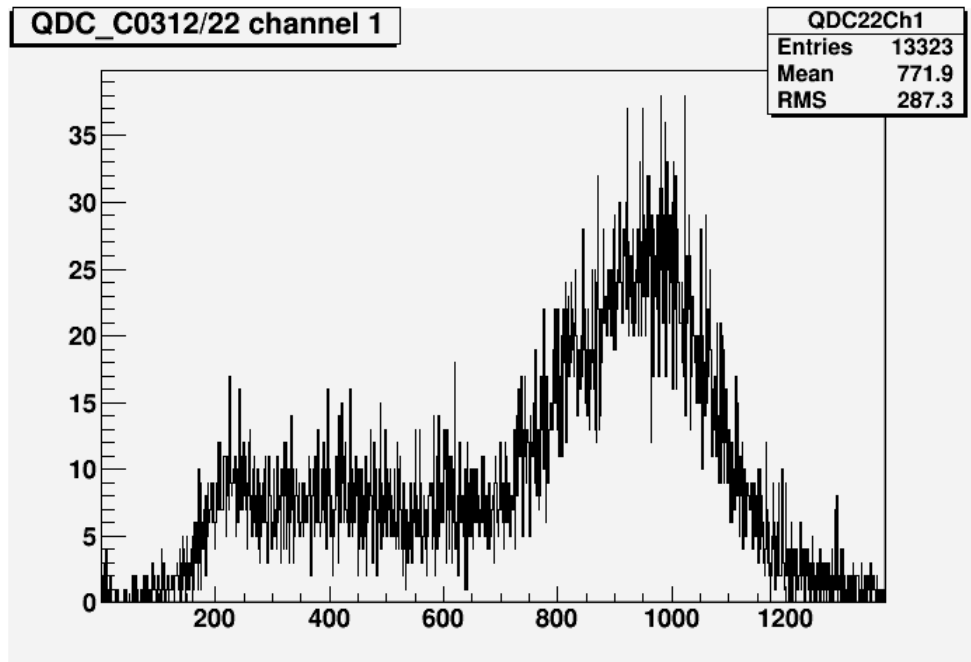
1900 V



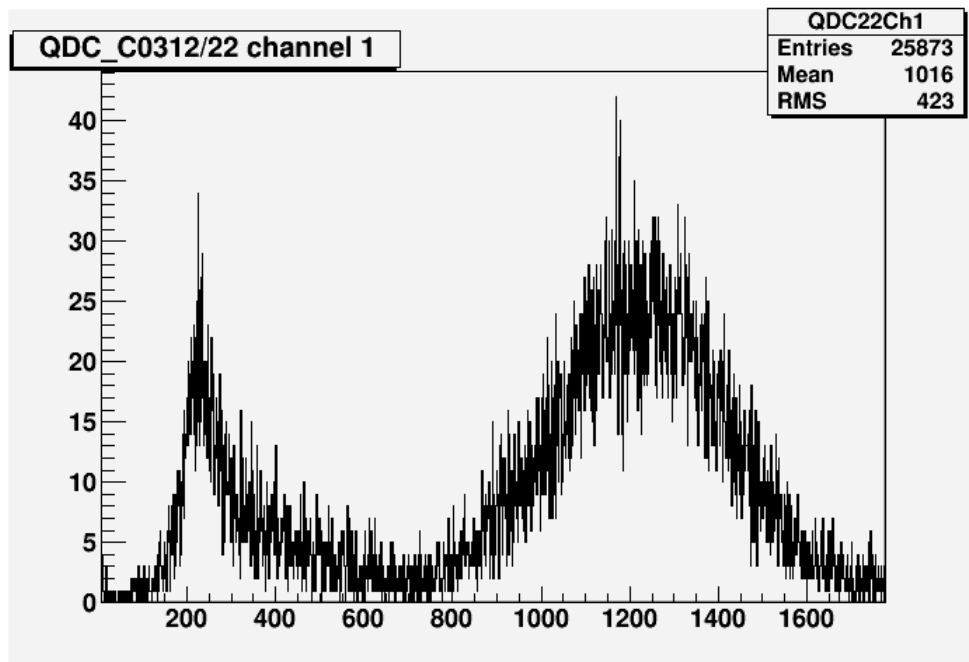
2100 V



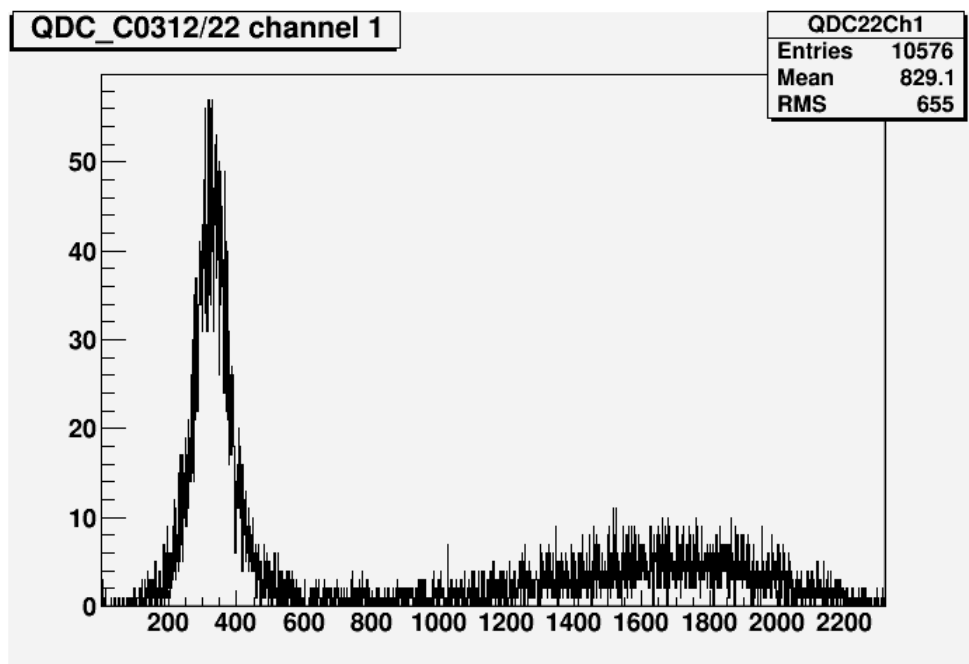
2200 V



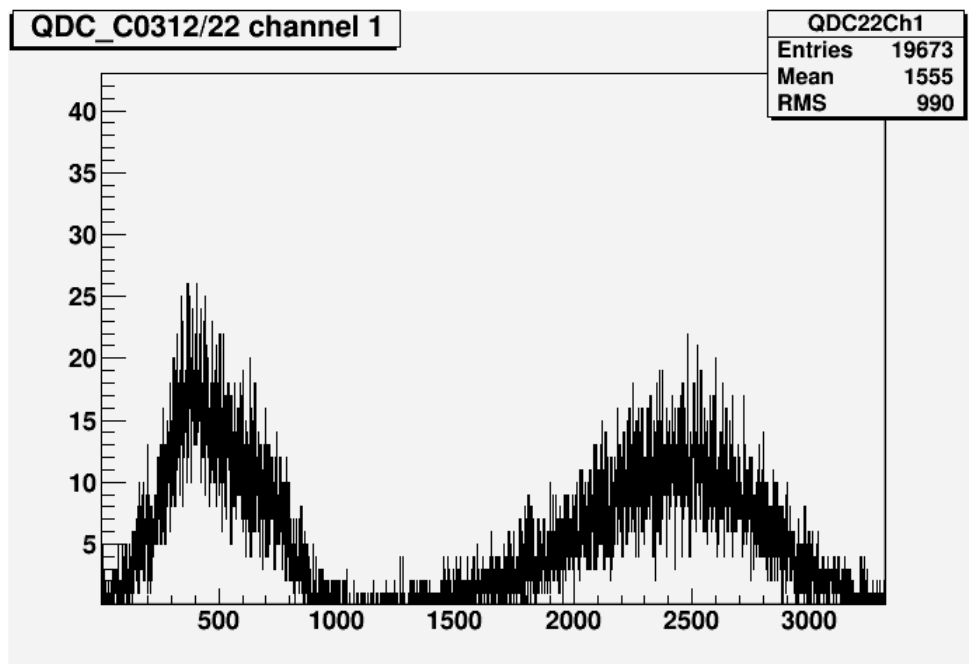
2300 V



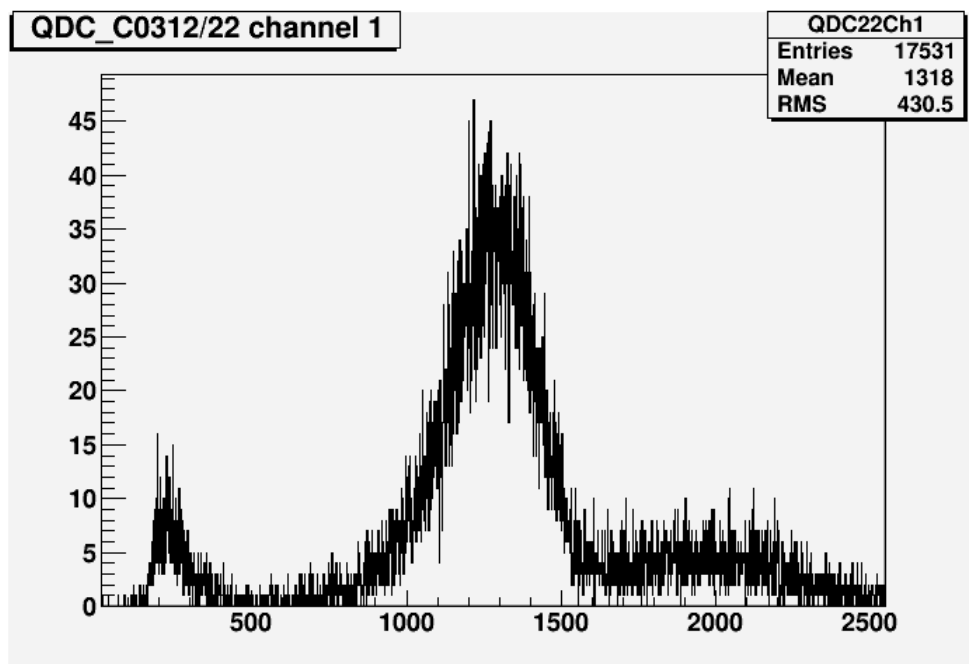
2300 V (включили делитель)



2400 V (включили делитель)



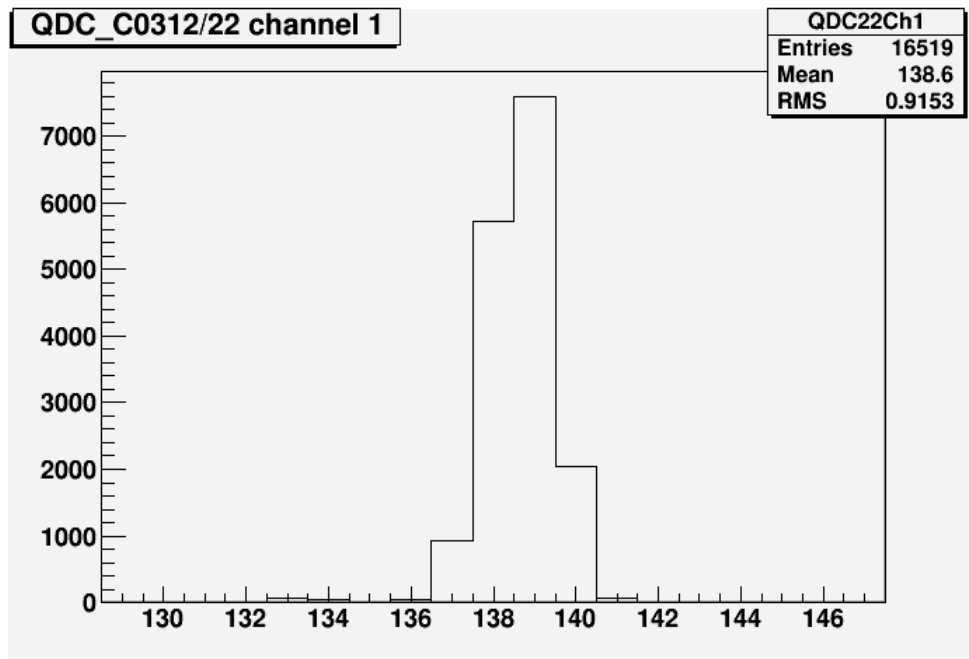
2500 V (включили делитель)



2600 V (включили делитель)


```
[2600, 190, 1500, 100, 400, 3, True],
[2700, 180, 960, 70, 600, 3, True]],
columns=columns)
```

- Для каждой установки ослабления аттенюатора откалибровать положение пьедестала ЗЦП, отсоединив выход А блока ТА от входа аттенюатора (радиоизотоп должен находиться на трубке). Центр тяжести спектра даст значение, соответствующую пьедесталу. Положение пьедестала должно учитываться при обработке всех амплитудных спектров.

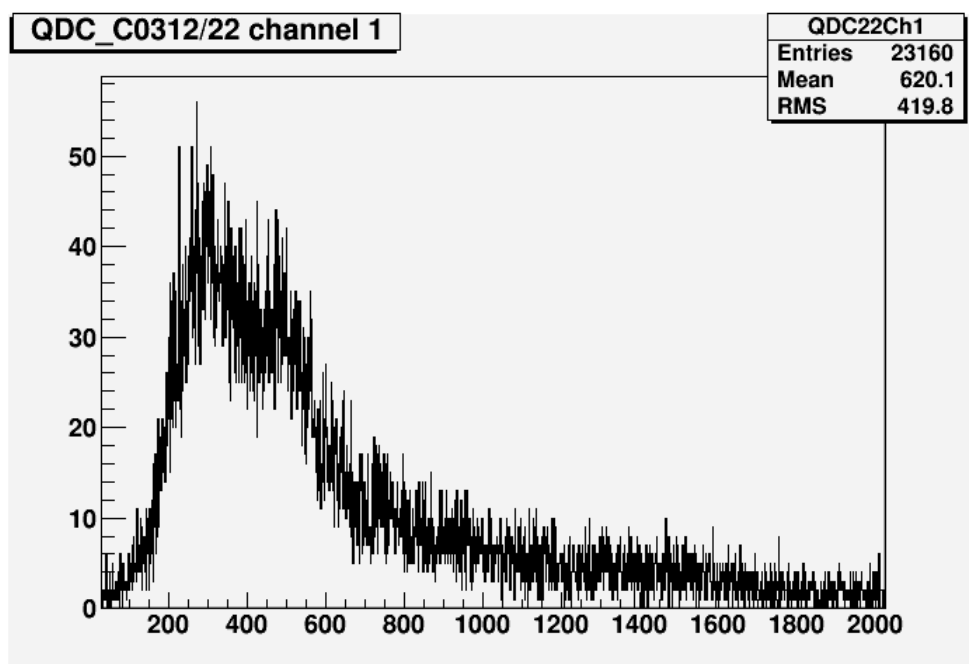


```
In [3]: pedestal = 140

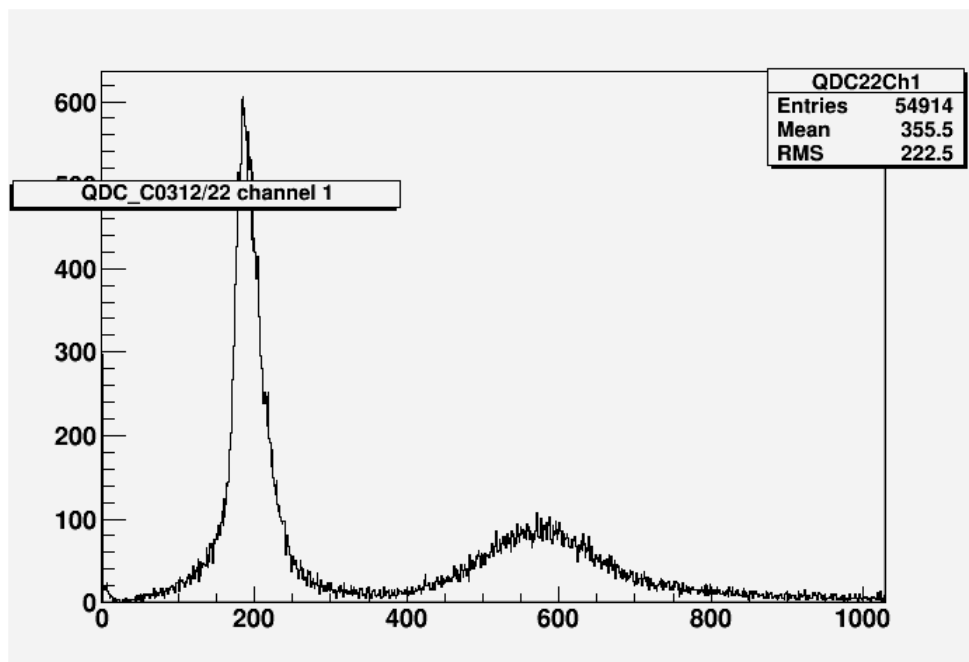
data_df['first_mean'] = data_df['first_mean'] - pedestal
data_df['second_mean'] = data_df['second_mean'] - pedestal
```

- Поменять схему на Рис. 4.3, настроив запуск от трубки 2. Снять амплитудные спектры для изотопа ^{90}Sr при небольшом напряжении (~ 2000 В) и при максимальном напряжении (~ 2700 В). Распечатать полученные спектры.

2000 В (включили делитель) 9 db



2700 В (включили делитель) 21 db



4. Зарисовать форму импульса с анодной проволочки на осциллографе от изотопов ^{55}Fe (γ) и ^{90}Sr (β) в пропорциональном и стримерном режимах. Пронаблюдать изменение формы импульса при переходе в стримерный режи

См. видео у Вероники.

Обработка и представление результатов

1. Для отчета выборочно распечатать амплитудные спектры иллюстрирующие пропор- циональный и стримерный режимы, а также переход из одного в другой

См. выше.

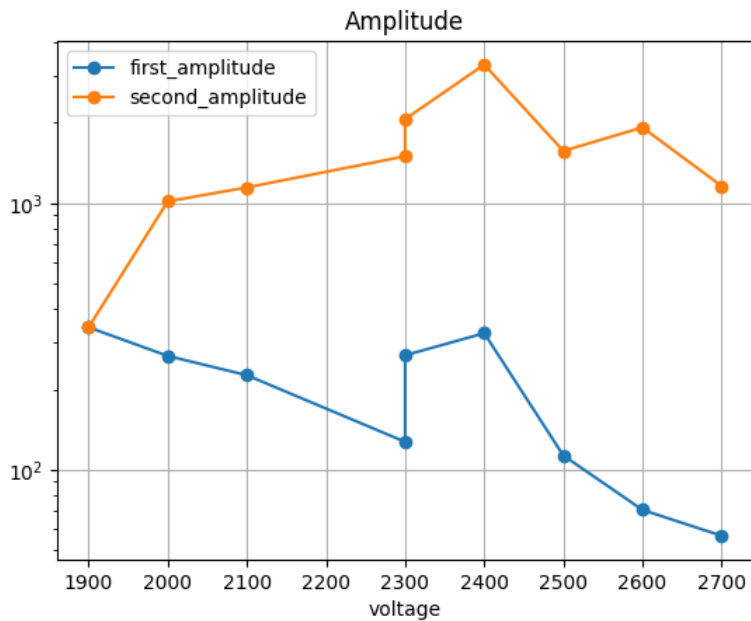
2. Используя пик, возникший от поглощения 6-кэвного гамма кванта изотопа ^{55}Fe , по- строить в логарифмическом масштабе в произвольных единицах зависимость коэф- фициента газового усиления от напряжения. Точки пропорционального и стример- ного режимов отложить на одном графике.

```
In [4]: data_df['first_amplitude'] = data_df['first_mean'] / 10**(-data_df['attenuation']/20)
data_df['second_amplitude'] = data_df['second_mean'] / 10**(-data_df['attenuation']/20)
```

```
In [5]: import matplotlib.pyplot as plt

data_df.plot(x='voltage', y=['first_amplitude', 'second_amplitude'], logy=True, title='Amplitude', grid=True, kind='line',
```

```
Out[5]: <Axes: title={'center': 'Amplitude'}, xlabel='voltage'>
```

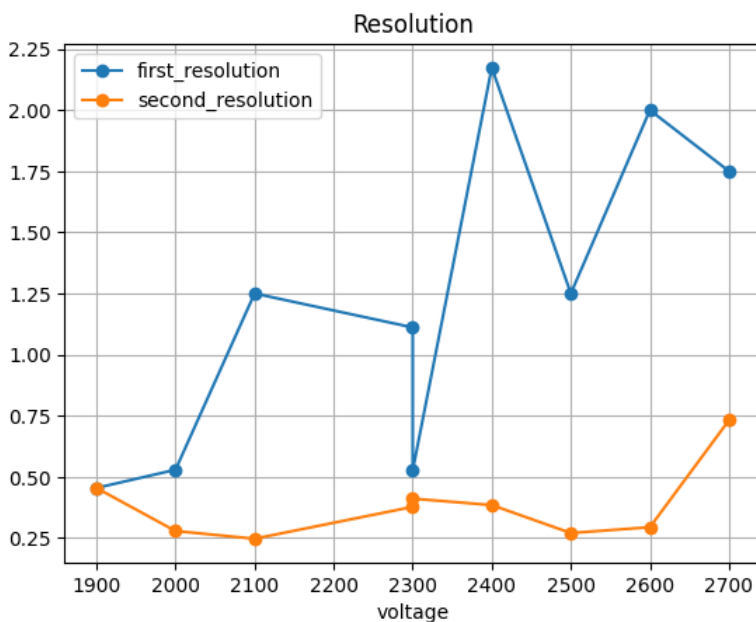


3. Построить зависимость амплитудного разрешения счетчика $\Delta A/A$ от напряжения для пропорционального и стримерного режимов на одном графике. ΔA — ширина пика на полувысоте, A — среднее значение амплитуды.

```
In [6]: data_df['first_resolution'] = data_df['first_width'] / data_df['first_mean']
data_df['second_resolution'] = data_df['second_width'] / data_df['second_mean']
```

```
In [7]: data_df.plot(x='voltage', y=['first_resolution', 'second_resolution'], title='Resolution', grid=True, kind='line', marker=
```

```
Out[7]: <Axes: title={'center': 'Resolution'}, xlabel='voltage'>
```



4. Дать объяснение изменению амплитудных спектров в зависимости от напряжения.

См. теорию

5. Ответить на контрольные вопросы.

См. ниже.

Вопросы

Механизм образования, дрейфа и усиления ионизации в газовом цилиндрическом счетчике.

см. теорию

Особенности разных режимов работы газового цилиндрического счетчика.

см. теорию

Почему отличаются формы импульсов при облучении изотопами ^{55}Fe и ^{90}Sr ?

Различие в формах импульсов, получаемых при облучении счетчика изотопами ^{55}Fe и ^{90}Sr , объясняется различиями в типах излучаемых частиц и их энергетических характеристиках.

- Изотоп ^{55}Fe испускает рентгеновские фотоны. Энергия рентгеновских фотонов относительно невелика (несколько кэВ), что приводит к формированию импульсов меньшей амплитуды по сравнению с более энергичными частицами
- Изотоп ^{90}Sr является бета-излучателем, испускающим электроны с максимальной энергией до 2,28 МэВ. Эти бета-частицы обладают значительно большей энергией, чем фотоны ^{55}Fe , что приводит к генерации импульсов большей амплитуды.

Разница в формах импульсов связана не только с амплитудой, но и со скоростью нарастания и спада импульса, которые зависят от взаимодействия излучаемых частиц с газом в счетчике. Бета-частицы, имея большую энергию, могут пройти через газ на большее расстояние, создавая по пути больше ионов, что приводит к формированию импульсов с более выраженной амплитудой и другим временем нарастания/спада по сравнению с импульсами от низкоэнергетических частиц.

Чем определяется длительность переднего и заднего фронта импульса со счетчика в пропорциональном режиме?

Длительность переднего и заднего фронта импульса со счетчика в пропорциональном режиме определяется несколькими факторами, связанными как с физическими процессами внутри счетчика, так и с характеристиками электронной схемы, используемой для регистрации сигналов. Вот основные из них:

1. Процесс дрейфа ионов и электронов. В пропорциональном счетчике после первичного ионизирующего события образуются электроны и ионы. Электроны движутся к аноду, а ионы - к катоду. Скорость дрейфа этих заряженных частиц зависит от их подвижности и напряженности электрического поля внутри счетчика. Более высокое напряжение увеличивает скорость дрейфа, что может уменьшать длительность переднего фронта импульса.
2. Процесс умножения заряда. Время, необходимое для развития этого процесса, также влияет на длительность переднего фронта.
3. Геометрия и размеры счетчика. Большие размеры счетчика могут увеличивать время дрейфа заряженных частиц к электродам, что влияет на длительность импульсов.
4. Свойства газа. Тип газа и его давление внутри счетчика влияют на подвижность заряженных частиц и скорость развития процесса умножения заряда, что может изменять форму импульса.
5. Характеристики электронной схемы..