

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

Физический факультет
Кафедра общей физики
Кузнецов Терентий Алексеевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Измерение коэффициента усиления электронного газового
умножителя**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19308

Научный руководитель:

Соколов. А. В. к. ф.- м. н.
С. Н. С. Лаб. 3-3. ИЯФ СО РАН
Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В.Т. Астрелин
Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск 2020

Оглавление

Введение.....	3
Оборудование.....	4
Теоретическая часть.....	5
Толстый Газовый Электронный Умножитель.....	5
Механизм образования тока в газе.....	5
Ход работы.....	6
Часть 1. Измерение входного тока.....	6
Часть 2. Измерение выходного тока и определение коэффициента усиления.....	6
Измерения.....	7
Часть 1. Измерение входного тока.....	7
Часть 2. Определение коэффициента усиления при давлении 50 торр.....	8
Часть 3. Определение коэффициента усиления при давлении 70 торр.....	10
Результаты.....	14

Аннотация

В Институте ядерной физики им. Будкера СО РАН разрабатывается время-проекционная камера (ВПК), предназначенная для модернизации комплекса ускорительного масс-спектрометра (УМС) работающего в центре коллективного пользования "Геохронология кайнозоя". Использование ВПК в составе комплекса позволит расширить номенклатуру пригодных для датировки изотопов, что, в свою очередь, значительно расширит круг задач УМС.

Важной составной частью ВПК является "толстый" газовый электронный умножитель (ТГЭУ), позволяющий упростить систему сбора данных.

Данная работа посвящена расчёту коэффициента усиления умножителя методом прямого измерения токов до и после усиления. Измеряется зависимость коэффициента усиления от напряжения на умножителе. Полученные результаты представлены в виде графиков.

Ключевые слова: «толстый» электронный газовый умножитель(ТГЭУ), коэффициент усиления, изобутан, α -частица, ионизация.

Введение

Газовый электронный умножитель (ГЭУ) в «стандартном» исполнении представляет собой тонкую диэлектрическую полиамидную (каптоновую) пленку, толщиной 50 мкм, покрытую с обеих сторон медной фольгой толщиной 5 мкм, в которой проделано множество отверстий (рис. 1). Отверстия имеют форму двойного конуса и расположены в виде гексагональной матрицы; их шаг составляет 140 мкм, а диаметр 60–80 мкм по металлу и 40–60 мкм в центре пленки. [1]

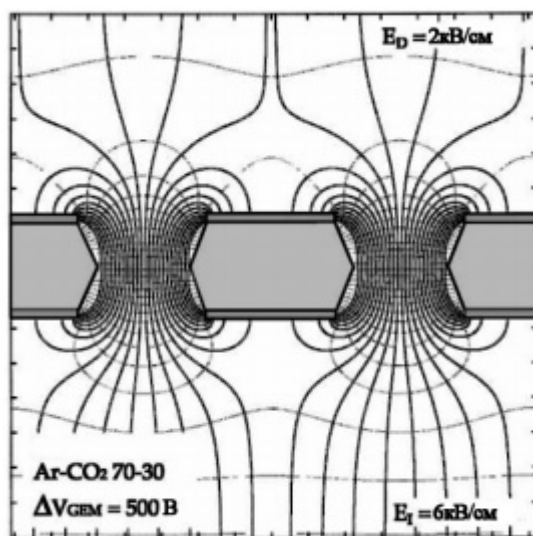


Рисунок 1: Картина силовых линий в ГЭУ для типичных условий работы.

При подаче разности потенциалов между металлическими электродами в отверстиях образуется сильное электрическое поле. Первичные электроны дрейфуют вдоль силовых линий и фокусируются в отверстия, в которых под действием сильного электрического поля развиваются электронные лавины. Заметная часть электронов лавины может выйти из отверстия в газовый промежуток для усиления в последующих усилительных каскадах или для регистрации на анодном (считывающем) электроде. [1]

Для каждого газового электронного умножителя логично определить **коэффициент усиления**, равный отношению выходного тока к входному. Данная величина, разумеется, зависит от напряжения на усилителе, давления в газе, используемого вещества.

В данной работе используется разновидность ГЭУ — «толстый» газовый электронный усилитель (ТГЭУ).

Цель работы — измерение зависимости коэффициента усиления газового электронного умножителя от напряжения на ТГЭУ.

Оборудование

Ниже показана характерная схема экспериментальной установки. Установка представляет собой два концентрических цилиндра. Длина внутреннего цилиндра равняется $L = 23$ см. В большом цилиндре поддерживается вакуум, малый цилиндр заполнен изобутаном. Давление в газовом объёме можно устанавливать любым в диапазоне 15-200 Торр. Специальная газовая система стабилизирует давление с точностью лучше 1%. Чистота газа обеспечивается отсутствием воздуха во внешнем цилиндре. Так же внешняя металлическая оболочка экранирует объём от внешних полей.

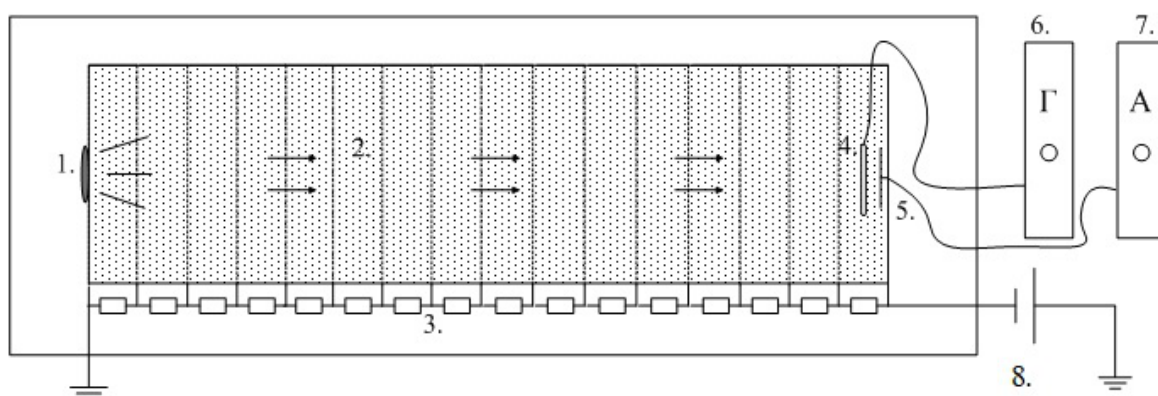


Рисунок 2: Схема установки.

1. Источник α -частиц.
2. Рабочий объём, заполненный изобутаном при постоянном давлении.
3. Для создания постоянного электрического поля внутри цилиндра, малый цилиндр опоясывает большое количество колец, между которыми подключены резисторы, за счёт которых линейно изменяется потенциал колец.
4. Исследуемый толстый газовый электронный умножитель в форме квадрата со стороной равной 3 см.

Параметры ТГЭУ - толщина (0.7 мм), диаметр отверстий (0.5 мм) и расстояние между ними (1 мм).

5. Регистрирующий анод, принимающий электрический ток.
6. Для питания ТГЭУ и делителя полеформирующих колец используется источник CAEN N1470
7. Высоковольтный источник высокого разрешения CAEN N1471H в качестве амперметра для измерения тока через регистрирующий анод.
Дополнительно: цифровой мультиметр Sanwa PC510.

Теоретическая часть

Толстый Газовый Электронный Умножитель.

ТГЭУ очень схож по своему принципиальному устройству с классическим ГЭУ. Он так же представляет собой пластину с множеством отверстий, однако характерные диаметры отверстий, толщина пластины и расстояние между отверстиями заметно увеличено. Диаметр отверстий ТГЭУ обычно составляет 0,3-2 мм, толщина пластины составляет 0,4-3,2 мм. [2]

Одним из главных преимуществ "толстого" ГЭУ перед "тонким" является устойчивость к пробоям. "Тонкий" ГЭУ после пробоя может с большой вероятностью закоротить, у "толстого" эта вероятность на два порядка меньше. Дополнительно "толстый" ГЭУ способен работать при более низком давлении, с его помощью можно получать большие коэффициенты усиления. [2]

Механизм образования тока в газе.

Излучаемые в рабочий объём альфа-частицы теряют энергию за счёт ионизации окружающего газа и оставляют за собой трек в виде электрон ионных пар. Давление в газовом объёме подбирается таким образом, чтобы альфа частицы останавливались вблизи ТГЭУ, не долетая до него. Кинетическая энергия α -частицы переходит в энергию ионизации молекулы газа. Под действием электрического поля образованные в газе ионы и электроны дрейфуют в разные стороны.

Если α -частица успевает затормозить в рабочем объёме — вся кинетическая энергия переходит в энергию ионизации, а значит количество ионов и электронов образованное в цилиндре от давления газа не зависит.

Электрический ток в объёме образуется потому что под действием электрического поля электроны дрейфуют в сторону регистрирующего анода.

Ход работы

Часть 1. Измерение входного тока.

Измерение значения входного тока проводится при отключенном ТГЭУ.

Входной ток образуется за счёт дрейфа электронов, образованных вследствие ионизации газа, вызванной торможением альфа-частиц. Из-за своей природы входной ток не зависит от подключаемой нагрузки, т. е. Данная установка может использоваться как идеальный источник тока.

К верхней обкладке ТГЭУ прикручена металлическая пластина диаметром 100 мм, в центре которой есть отверстие диаметром 45 мм для ТГЭУ. Пластина имеет то же потенциал, что и верхняя обкладка. Это сделано для того, чтобы поле в объёме было однородным. Измеряя ток через пластину, для нахождения входного тока ТГЭУ нужно разделить результат на отношение телесных углов.

Используем в качестве нагрузки мультиметр в режиме вольтметра с внутренним сопротивлением 10 МОм. Тогда ток через пластину равен току через вольтметр и находится как $I = U/R$ — по закону Ома.

Для исключения систематической ошибки входной ток измеряется в нормальном режиме, в холостом режиме (при нулевом дрейфовом электрическом поле), и в реверсивном режиме (ток через анод образуется ионами, а не электронами).

Часть 2. Измерение выходного тока и определение коэффициента усиления.

При различных напряжениях на электронном умножителе при помощи высокоточного амперметра измеряем анодный ток и I_{OFFSET} — фоновый ток через амперметр. В ходе измерений обнаружилось что ток через амперметр довольно

заметно флуктуирует. В качестве погрешности измерений берём полуразность между пороговыми значениями тока.

$$\text{Выходной ток считаем как } I_{OUT} = I_{anode} - I_{OFFSET}$$

Коэффициент усиления считается как отношение выходного тока к входному току, измеренному в первой части.

Измерения проводятся для давлений 50 торр и 70 торр.

Измерения

Часть 1. Измерение входного тока.

Сопротивление вольтметра $R = 10^7$ Ом.

Давление газа $p = 50$ торр.

Отношение телесных углов - коэффициент $k = 8,72$.

Режим/Измерения	U_B , мВ	ΔU_B , мВ	I , нА	ΔI , нА
Нормальный режим	1,11	0,02	0,111	0,002
Холостой режим	0,05	0,01	0,005	0,001
Реверсивный режим	-1,00	0,02	-0,100	0,002

Таблица 1: Часть 1. Таблица измерений.

Погрешность U_B в прямом режиме берётся как полуразность пороговых значений напряжения. В холостом режиме флуктуаций не наблюдалось погрешность берётся как цена деления прибора.

$$I_{IN} = \frac{1}{k}(I_{\text{нормальный режим}} - I_{\text{холостой режим}}), \quad \Delta I_{IN} = \frac{1}{k}\sqrt{\Delta I_{\text{нормальный режим}}^2 + \Delta I_{\text{холостой режим}}^2}$$

$$I_{IN} = 12,16 \text{ пА}, \quad \Delta I_{IN} = 0,25 \text{ пА}. \quad \rightarrow \quad I_{IN} = 12,16 \text{ пА} \pm 0,25 \text{ пА}.$$

Так как количество ионов равно количеству электронов, ионный ток в реверсивном режиме должен быть равен прямому току электронов.

В Реверсивном режиме получаем $I_{IN} = 12,04 \text{ пА} \pm 0,25 \text{ пА}$, что полностью сходится с предыдущим значением.

Часть 2. Определение коэффициента усиления при давлении 50 торр.

В соответствии с описанным в предыдущем параграфе алгоритмом действий измеряем $I_{\text{АНОД}}$ и I_{OFFSET} . Результаты измерений заносим в таблицу.

$U_{\text{ТГЭУ}}, \text{В}$	$I_{\text{АНОД}}, \text{нА}$	$\Delta I_{\text{АНОД}}, \text{нА}$	$I_{\text{OFFSET}}, \text{нА}$	$\Delta I_{\text{OFFSET}}, \text{нА}$	$I_{\text{OUT}}, \text{нА}$	$\Delta I_{\text{OUT}}, \text{нА}$
76	0,9	0,05	0,95	0,02	-0,05	0,05
152	0,93	0,02	0,95	0,02	-0,02	0,03
227	0,95	0,02	0,95	0,02	0	0,03
303	0,97	0,03	0,95	0,02	0,02	0,04
379	1,02	0,03	0,95	0,02	1	0,04
455	1,25	0,02	0,95	0,02	0,3	0,03
493	1,48	0,03	0,95	0,02	0,53	0,04
531	2,05	0,05	0,95	0,02	1,1	0,05
569	3,2	0,05	0,95	0,02	2,25	0,05
606	6	0,2	0,95	0,02	5,05	0,2
644	12	0,5	0,95	0,02	11,05	0,5
682	(пробой)	(пробой)	-	-	-	-

Таблица 2: Выходной ток при давлении 50 торр.

Считаем ΔI_{OUT} по формуле $\Delta I_{\text{OUT}} = \sqrt{\Delta I_{\text{АНОД}}^2 + \Delta I_{\text{OFFSET}}^2}$

Строим график I_{OUT} от $U_{\text{ТГЭУ}}$.

График зависимости выходного тока от напряжения ТГЭУ

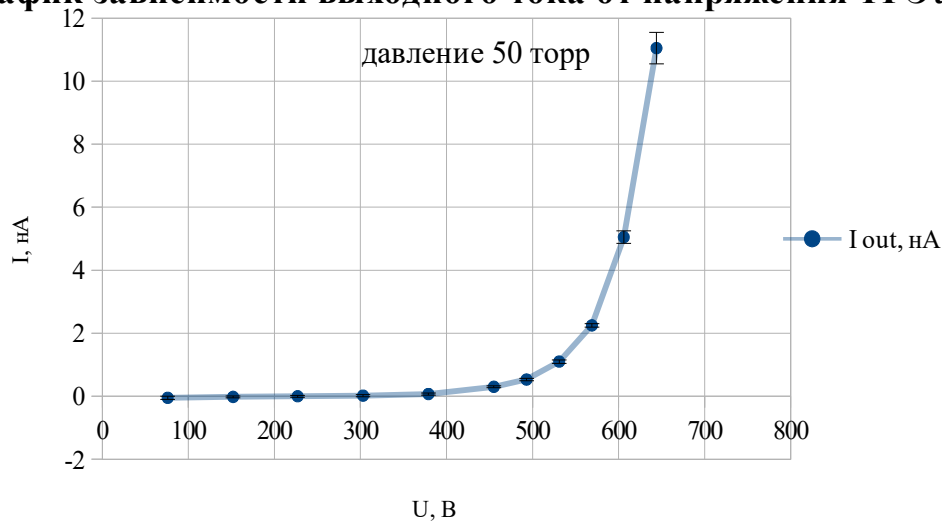


График 1: Выходной ток от напряжения на ТГЭУ

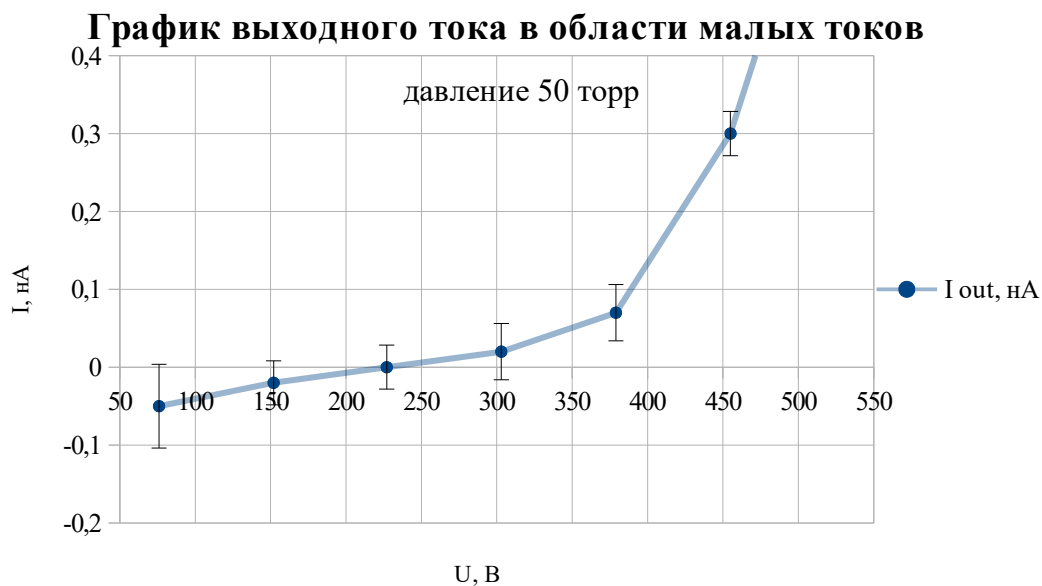


График 2: Выходной ток в области малых токов

Далее составляем таблицу посчитанных коэффициентов К.

U _{тгэу} , В	I _{out} , нА	ΔI _{out} , нА	К	ΔК
76	-0,05	0,05	-4	4
152	-0,02	0,03	-1,7	2,3
227	0	0,03	0	2,3
303	0,02	0,04	1,7	3
379	0,07	0,04	5,8	3,1
455	0,3	0,03	24,7	2,8
493	0,53	0,04	44	3
531	1,1	0,05	90,5	6
569	2,25	0,05	185	8
606	5,05	0,2	415	25
644	11,05	0,5	910	60

Таблица 3: Коэффициент усиления при давлении 50 торр.

Погрешности К считаются расчётом $K_{up} = \frac{I_{OUT} + \Delta I_{OUT}}{I_{IN} - \Delta I_{IN}}$ и

$K_{down} = \frac{I_{OUT} - \Delta I_{OUT}}{I_{IN} + \Delta I_{IN}}$, погрешность считаем как $\Delta K = \frac{(K_{up} - K_{down})}{2}$

График зависимости коэффициента усиления от напряжения ТГЭУ

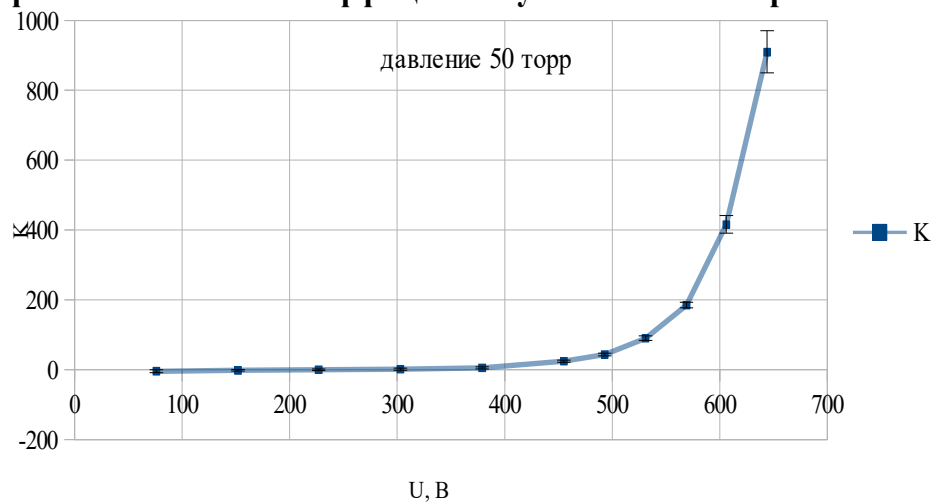


График 3: Коэффициент усиления при давлении 50 торр.

График зависимости коэффициента усиления от напряжения ГЭУ

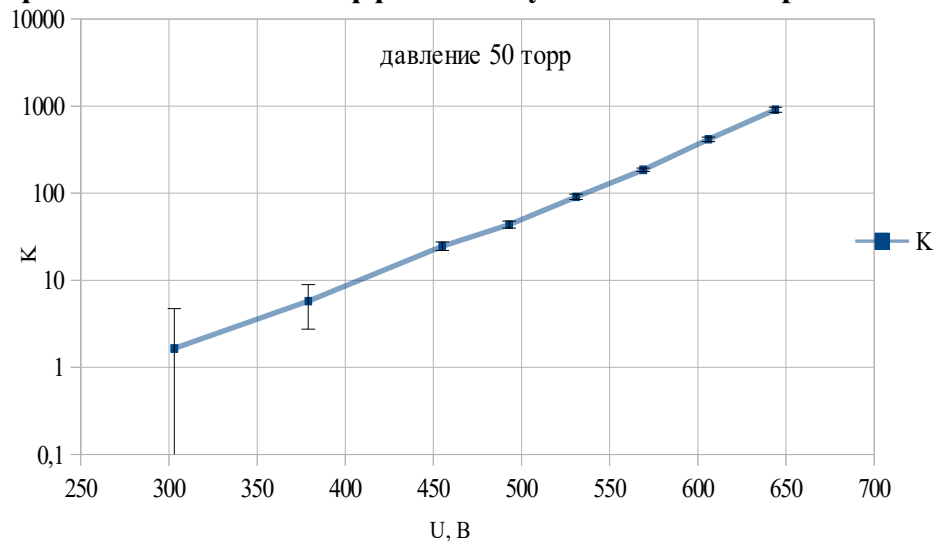


График 4: Коэффициент усиления от напряжения в логарифмическом масштабе

Часть 3. Определение коэффициента усиления при давлении 70 торр.

Действия в третьей части аналогичны действиям во второй части. Составляем таблицу измерений I_{OUT} . Для давления 70 торр в цилиндре.

$U_{ТГЭУ}, В$	$I_{АНОД}, нА$	$\Delta I_{АНОД}, нА$	$I_{OFFSET}, нА$	$\Delta I_{OFFSET}, нА$	$I_{OUT}, нА$	$\Delta I_{OUT}, нА$
76	0,95	0,02	0,95	0,02	0	0,03
152	0,95		0,95	0,02	0	0,02
227	0,96	0,02	0,95	0,02	0,01	0,03
303	1	0,02	0,95	0,02	0,05	0,03
379	1,1	0,05	0,95	0,02	0,15	0,05
455	1,15	0,02	0,95	0,02	0,2	0,03
493	1,25	0,03	0,95	0,02	0,3	0,04
531	1,45	0,02	0,95	0,02	0,5	0,03
569	1,8	0,02	0,95	0,02	0,85	0,03
606	2,35	0,05	0,95	0,02	1,4	0,05
644	3,4	0,05	0,95	0,02	2,45	0,05
682	5,7	0,2	0,95	0,02	4,75	0,2
720	11	2	0,95	0,02	10,05	2

Таблица 4: Выходной ток при давлении 70 торр.

Считаем ΔI_{OUT} по формуле $\Delta I_{OUT} = \sqrt{\Delta I_{АНОД}^2 + \Delta I_{OFFSET}^2}$

Строим график выходного тока от напряжения на усилителе.

График выходного тока от напряжения на ТГЭУ

давление 70 торр

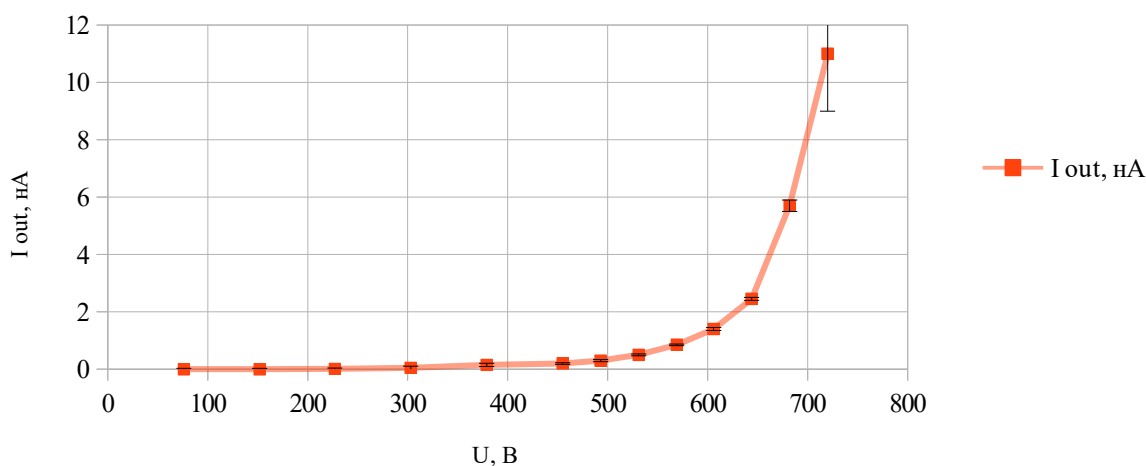


График 5: Выходной ток при давлении 70 торр.

Выходной ток в области малых токов

давление 70 торр

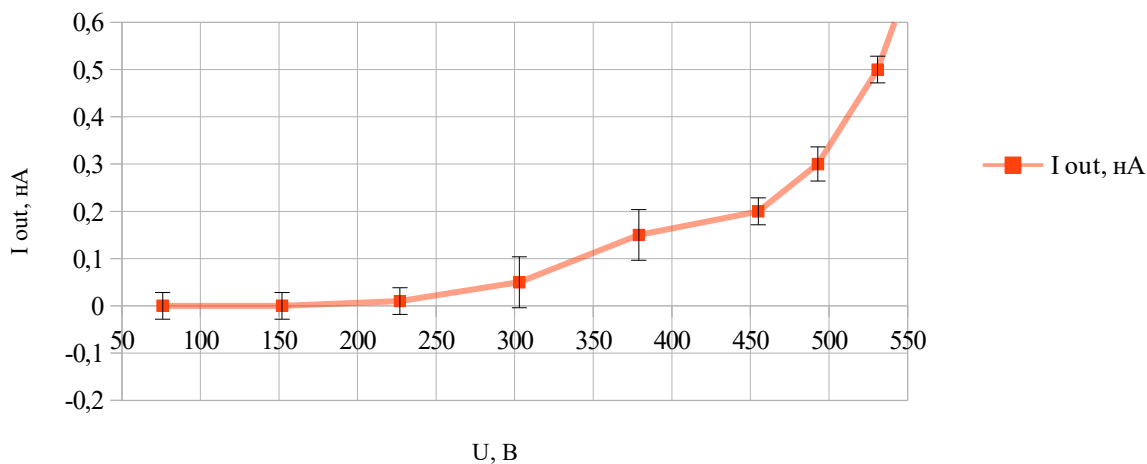


График б: Выходной ток в области малых токов.

Во время ионизации энергия альфа-частицы переходит в энергию ионизации газа, поэтому если давление газа достаточно большое чтобы альфа-частица успевала затормозить, входной ток не зависит от величины давления газа. Поэтому входной ток при 70 торр считаем равным входному току при 50 торр.

Составляем таблицу $K = K_{OUT} / K_{IN}$.

$U_{ТГЭУ}$, В	I_{OUT} , нА	ΔI_{OUT} , нА	K	ΔK
76	0	0,03	0	2,3
152	0	0,03	0	2,3
227	0,01	0,03	0,82	2,3
303	0,05	0,05	4,11	4,5
379	0,15	0,05	12,34	4,7
455	0,2	0,03	16,45	2,7
493	0,3	0,04	24,68	3,5
531	0,5	0,03	41,13	3,2
569	0,85	0,03	69,92	3,8
606	1,4	0,05	115,17	6,8

644	2,45	0,05	201,55	8,6
682	5,7	0,2	468,91	26
720	11	2	904,91	0

Таблица 5: Коэффициент усиления при давлении 70 торр.

Погрешности K считаются расчётом $K_{up} = \frac{I_{OUT} + \Delta I_{OUT}}{I_{IN} - \Delta I_{IN}}$ и $K_{down} = \frac{I_{OUT} - \Delta I_{OUT}}{I_{IN} + \Delta I_{IN}}$, погрешность считаем как $\Delta K = \frac{(K_{up} - K_{down})}{2}$

График зависимости коэффициента усиления от напряжения ТГЭУ

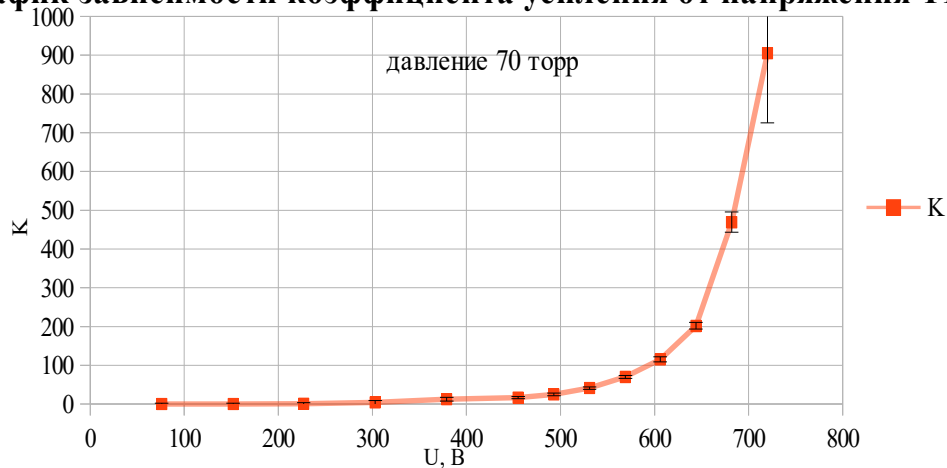


График 7: Коэффициент усиления при давлении 70 торр.

График зависимости коэффициента усиления от напряжения ТГЭУ

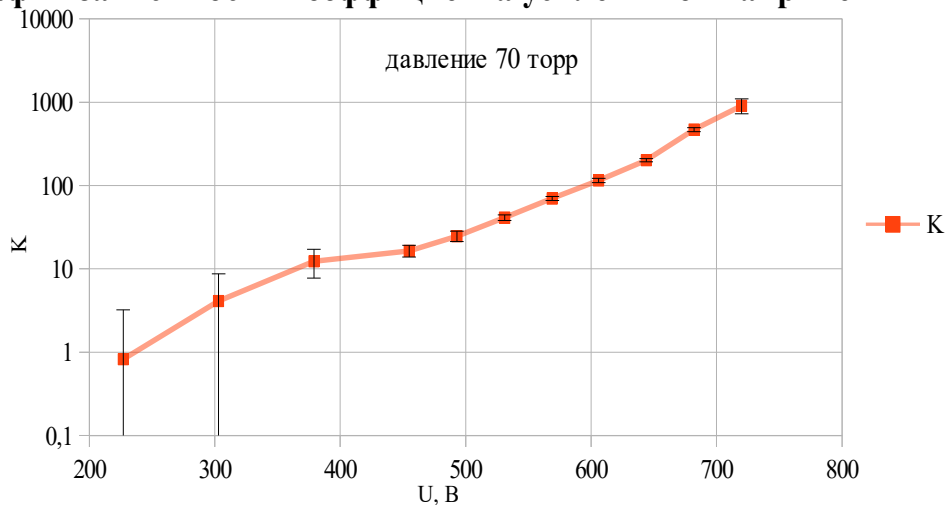


График 8: Коэффициент усиления от напряжения ТГЭУ в логарифмическом масштабе.

Результаты

Строим сводный график измеренного коэффициента усиления исследуемого ТГЭУ.

График зависимости коэффициента усиления от напряжения ТГЭУ

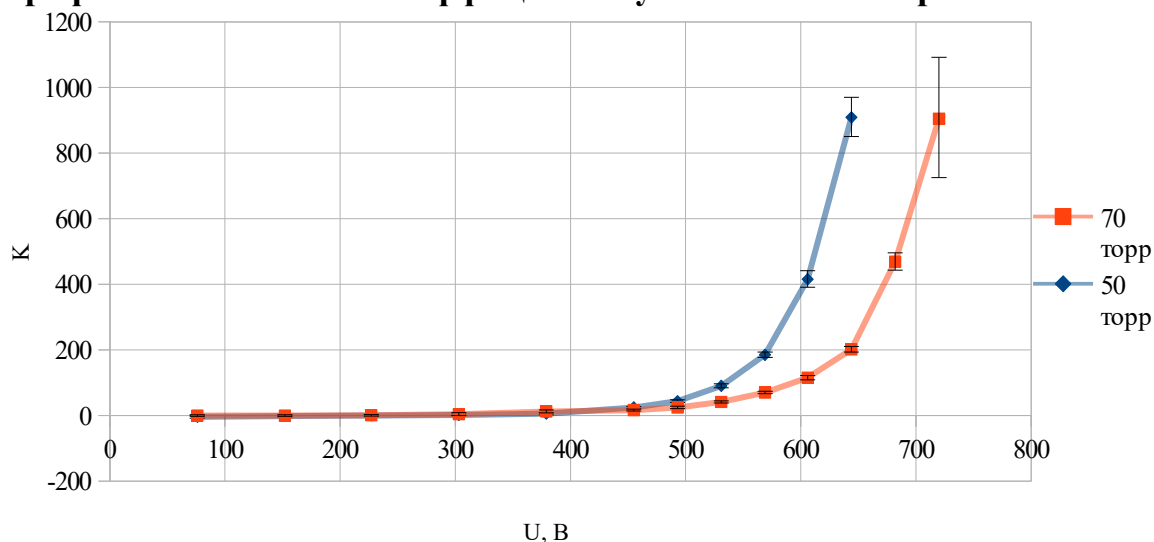


График 9: Коэффициент усиления ТГЭУ.

Дополнительно построим коэффициент усиления в логарифмическом масштабе.

График зависимости коэффициента усиления от напряжения ТГЭУ

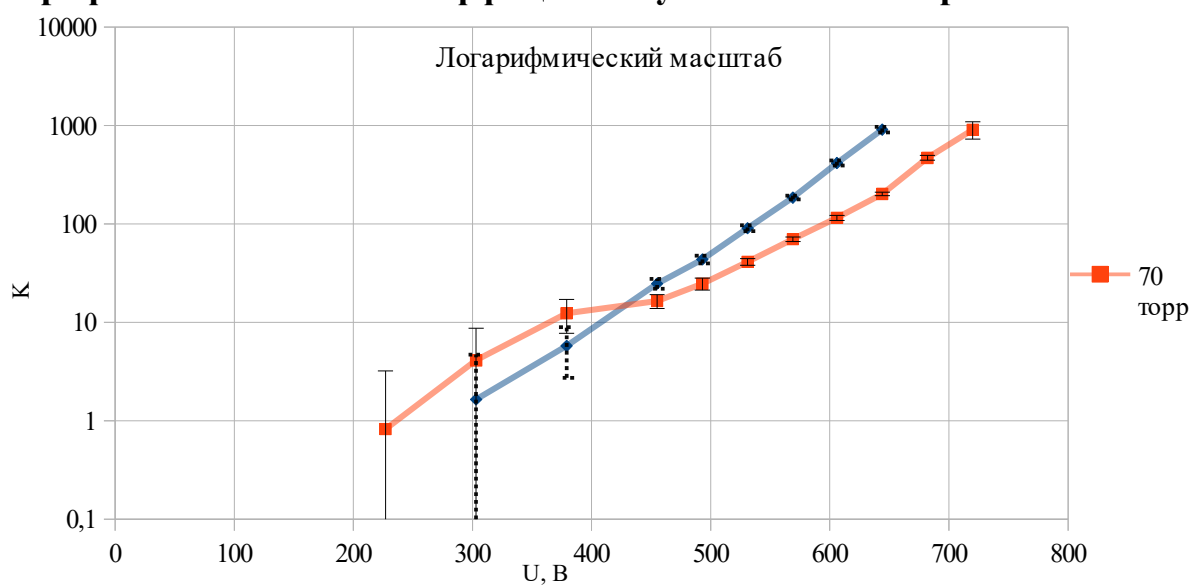


График 10: Коэффициент усиления ТГЭУ в логарифмическом масштабе.

Из полученных данных можно заключить что ТГЭУ начинает стабильно, без больших флуктуаций работать с напряжения примерно 350 В.

Из последнего графика особенно хорошо видно что зависимость хорошо аппроксимируется экспонентой.

Список литературы

1: А. Ф. Бузулуцков, Физические основы работы каскадных газовых электронных умножителей (обзор), Вестник НГУ, Серия: Физика, Том 3 выпуск 3, 2008.

2: С.К. Shalem, R. Chechik, A. Breskin, K. Michaeli, N. Ben-Haim / Advances in thick GEM-like gaseous electron multipliers Part II: Low-pressure operation. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 558 (2006) 468–474.