

Научно-исследовательская работа

Физика

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Выполнила:

Чистякова Екатерина Сергеевна

учащаяся 11 класса

МБОУ «Средняя общеобразовательная школа № 4»,

Россия, г.Оленегорск, Мурманская область

Руководитель:

Пименова Маргарита Павловна

учитель физики,

МБОУ средняя общеобразовательная школа № 4»,

Россия, г.Оленегорск, Мурманская область

Оглавление

Введение	4
1. Газовый разряд и спектральный анализ. Теория.	5
1.1. Спектр видимого излучения	5
1.2. Спектральный анализ	6
1.3. Линейчатый спектр	7
1.4. Электролюминесценция	8
1.5. Газовый разряд	8
1.5.1. Тлеющий разряд	8
1.6. Спектр водорода и модель атома Н. Бора	9
1.7. Закономерности поглощения света красителями.	11
2. Использование газового разряда на практике.	12
2.1. Описание оборудования	12
2.2. Знакомство с основами спектрального анализа	12
2.3. Рассмотрение спектра водорода и модели атома Н. Бора на практике	14
2.4. Закономерности поглощения света при прохождении через пленку	15
Заключение	18
Источники	20
Приложение 1	21
Приложение 2	21
Приложение 3	22
Приложение 4	22
Приложение 5	23
Приложение 7	24
Приложение 8	24
Приложение 9	25
Приложение 10	26
Приложение 11	27
Приложение 12	27
Приложение 13	28
Приложение 14	28

Приложение 15	29
Приложение 16	29
Приложение 17	30
Приложение 18	30
Приложение 19	31
Приложение 20	31
Приложение 21	32

Введение

Газовый разряд — это совокупность электрических, оптических и тепловых явлений, возникающих при протекании электрического тока через вещество, находящееся в газообразном состоянии. Это красивое явление, которое находит применение в нашей жизни. Он используется художниками для специального освещения, в неоновых рекламных знаках и в неоновых лампах, в ксеноновых фотовспышках, лампах подсветки индикаторов, ксеноновых дуговых лампах, в натриевых газоразрядных лампах уличного освещения. Цвет свечения зависит от химического состава газа, через который протекает ток. Как же можно узнать состав газа? Метод определения химического состава вещества по его спектру называется **спектральный анализ**.

Спектральный анализ широко применяется в промышленности для контроля состава вещества в металлургии, машиностроении, атомной индустрии. В том числе, применяется на градообразующем предприятии г. Оленегорска АО «Олкон» для контроля процентного содержания железа в руде. Нас заинтересовала данная тема, мы решили ближе познакомиться с данным методом, историей его создания и современным применением.

Цель работы: изучить теоретически и экспериментально метод спектрального анализа.

Гипотеза исследования: При прохождении света через плотную прозрачную пленку интенсивность спектральных линий уменьшается. Чем больше толщина пленки, тем меньше интенсивность проходящего света.

Задачи:

- 1) изучить литературу по видимым спектрам, спектральным приборам, познакомиться с методом спектрального анализа;
- 2) познакомиться с устройством и принципом действия спектроскопа и спектрометра;

- 3) экспериментально получить спектры газов с помощью спектроскопа и спектрометра, сравнить полученные спектры и методы работы с ними;
- 4) познакомиться с компьютерной программой обработки информации EnSpectr и исследовать с помощью данной программы спектры нескольких газов и сравнить полученные экспериментально данные с табличными;
- 5) экспериментально найти зависимость интенсивности спектральных линий, проходящего через пленку света, от толщины прозрачной пленки.

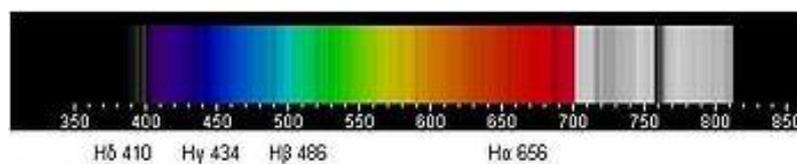
1. Газовый разряд и спектральный анализ. Теория.

1.1. Спектр видимого излучения

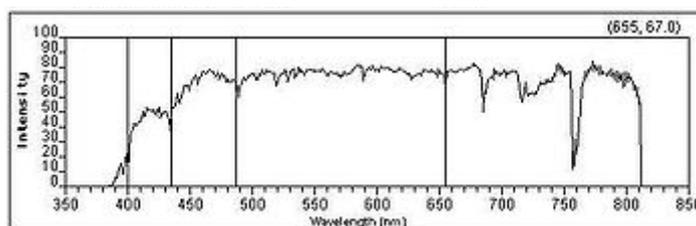
При разложении светового луча в призме образуется спектр, в котором лучи разных длин волн преломляются под разным углом. Возможность разложения солнечного света на непрерывную последовательность лучей разных цветов впервые экспериментально показал И.Ньютон в 1666 году, получаемые на экране при разложении луча цветные полосы он назвал спектром. Основные спектральные цвета, а также характеристики излучения этих цветов, представлены в таблице:

Цвет	Диапазон длин волн, нм	Диапазон частот, ТГц	Диапазон энергии фотонов, эВ
Красный	625-740	790-680	1,68-1,98
Оранжевый	590-625	680-620	1,98-2,10
Желтый	565-590	620-600	2,10-2,19
Зеленый	500-565	600-530	2,19-2,48
Голубой	485-500	530-510	2,48-2,56
Синий	440-485	510-480	2,56-2,82
Фиолетовый	380-440	480-405	2,82-3,36

Представить оптический спектр можно как свет, видимый в спектроскопе:



Или как зависимость интенсивности от длины волны:

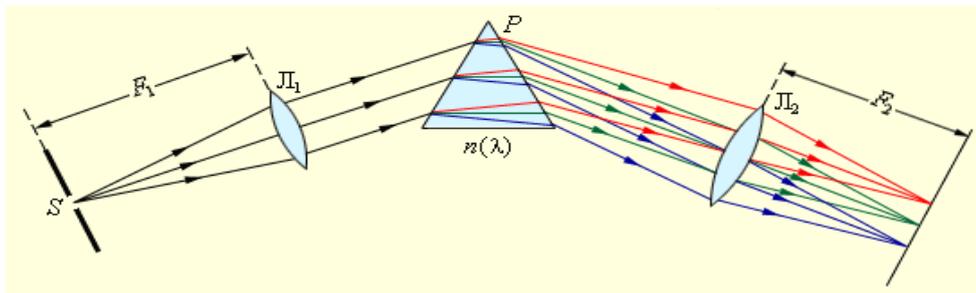


Исследования спектра сыграли огромную и ключевую роль в изучении Вселенной. С их помощью удалось понять строение не только атомов и молекул, но и таких астрофизических объектов, как Солнце, звезды, планеты, и получить подробную информацию об их движении. Разработанная теория спектров и накопленные знания позволили создать метод спектрального анализа для качественного и количественного определения состава химических веществ.

1.2. Спектральный анализ

Спектральный анализ - совокупность методов анализа химического состава веществ, в основе которого лежит исследование спектров испускания, поглощения, отражения и люминесценции. При этом используется основное свойство спектров: длина волны или частота - индивидуальный параметр, который соответствует только определенному атому исследуемого вещества, и не зависит от источника возбуждения. В соответствии с этим, возможно определение наличия этих веществ в том или ином материале по присущему только им спектру. Современные методы спектрального анализа позволяют установить наличие вещества массой до миллиардных долей грамма в пробе – за это ответственен показатель интенсивности излучения.

Схема устройства призмного спектрографа – простейшего спектрального аппарата:



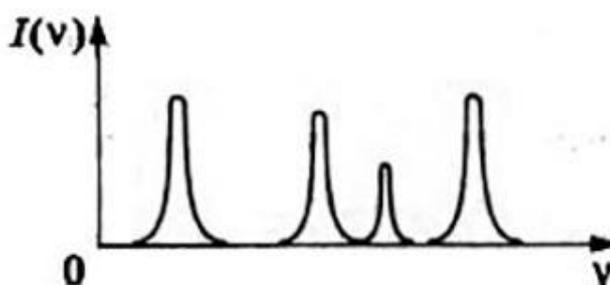
Благодаря сравнительной простоте и универсальности спектральный анализ является основным методом контроля состава вещества в металлургии, машиностроении, атомной индустрии. С помощью спектрального анализа определяют химический состав руд и минералов. Состав сложных, главным образом органических, смесей анализируется по их молекулярным спектрам.

Спектральный анализ строится на основе линейчатого спектра.

1.3. Линейчатый спектр

Линейчатый спектр - это частокол цветных линий различной яркости, разделенных широкими темными полосами. Наличие линейчатого спектра означает, что вещество излучает свет только вполне определенных длин волн в очень узких спектральных интервалах.

Распределение спектральной плотности интенсивности в линейчатом спектре:



Это самый фундаментальный, основной тип спектров.

Линейчатые спектры дают все вещества в газообразном атомарном состоянии.

1.4. Электролюминесценция

Электролюминесценция - люминесценция, возбуждаемая электрическим полем.

Электролюминесценция в газах вызывается электрическим разрядом. Энергия возбуждения в этом случае сообщается молекулам газа с помощью электронного удара или удара ионов. Атомы отдают энергию в виде световых волн, благодаря этому разряд в газе сопровождается свечением.

Электролюминесценция газов – это свечение газового разряда, используемого в газоразрядных трубках.

1.5. Газовый разряд

Газовый разряд – явление протекания электрического тока через газ. Газы в своем обычном состоянии являются диэлектриками. И лишь при соблюдении специальных условий в них могут появиться носители заряда: ионы или электроны. При появлении этих носителей, газ начинает проводить электричество, теряя свои диэлектрические свойства. Он приобретает проводимость. Если ионы и электроны появляются в результате процессов не связанных с наличием электрического поля: нагрева или ионизирующего излучение, то такая проводимость называется несамостоятельной.

Если же носители появляются в результате приложения электрического поля, то такая проводимость называется самостоятельной.

Самостоятельный разряд может принимать различные формы, которые зависят от многих факторов. Мы будем рассматривать только тлеющий разряд.

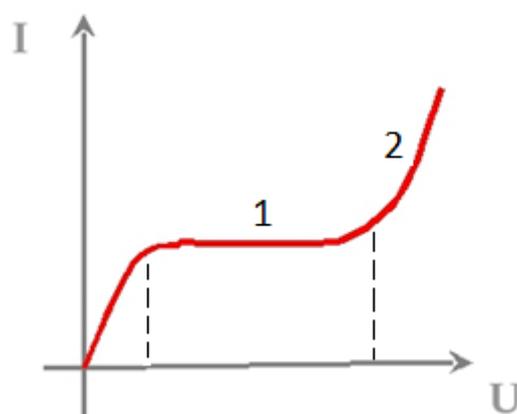
1.5.1. Тлеющий разряд

Такой вид разряда возникает при низких давлениях. Обычно, его получают в стеклянных трубках с плоскими электродами, которые впаяны с обоих концов трубки (приложение 10).

При достижении давления в 35 мм.рт.ст. возникает тонкий канал светящегося газа, который соединяет катод и анод друг с другом. При уменьшении давления, толщина этого канала начинает увеличиваться, и при падении

давления до отметки в 4-5 мм.рт.ст. этот шнур заполняет практически все пространство в трубке - именно в этот момент и устанавливается тлеющий разряд.

Положительные электроны, ударяясь о катод, вызывают вторичную электронную эмиссию. При увеличении напряжения между электродами трубки, заполненной газом, энергия движущихся ионов и электронов возрастает, возникает явление выбивания ионами из нейтральных молекул электронов – ударная ионизация, которая приводит к лавинному увеличению числа носителей заряда и резкому возрастанию тока (участок 2).



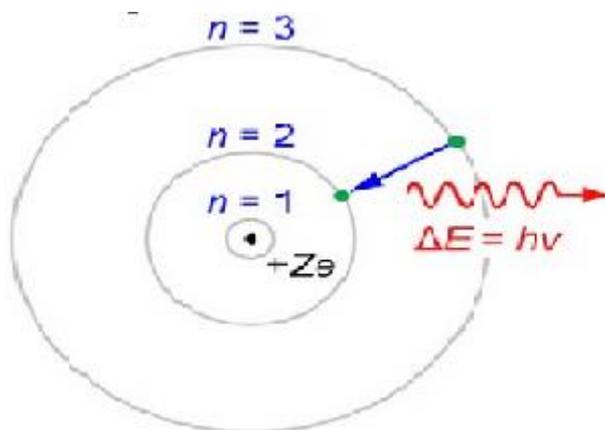
Такой разряд не нуждается в действии ионизатора.

Тлеющий разряд используется в газосветных трубках, лампах дневного света, стабилизаторах напряжения, для получения электронных и ионных пучков, в изготовлении зеркал для ряда приборов, наносят тонкий слой металла на селеновые фотоэлементы.

1.6. Спектр водорода и модель атома Н. Бора

Модель Атома Бора — полуклассическая модель атома, предложенная Нильсом Бором в 1913г. За основу он взял планетарную модель атома, выдвинутую Резерфордом. Суть модели атома Бора заключается в том, что электроны в атоме могут двигаться только по определённым стационарным орбитам, находясь на которых они не излучают энергию, а излучение или поглощение происходит только в момент перехода с одной орбиты на другую. Причём,

стационарными являются лишь те орбиты, при движении по которым момент количества движения электрона равен целому числу постоянной Планка - коэффициенту, связывающему величину энергии кванта электромагнитного излучения с его частотой.



Бор создал свою теорию водородоподобного атома, основанную на трех постулатах:

1. Существуют такие стационарные состояния атома, в которых он обладает определенной энергией E_n и не излучает электромагнитных волн.
2. Атом может переходить из одного стационарного состояния в другое, излучая или поглощая квант электромагнитного излучения $h\nu$, равный по модулю разности энергий этих двух состояний с номерами n и k

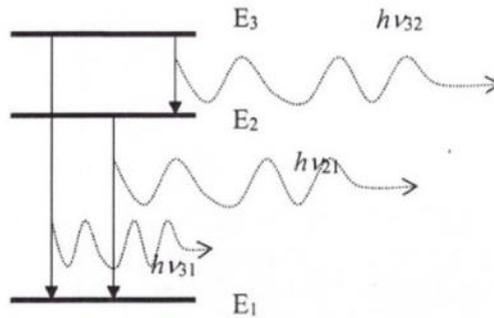
$$h\nu = |E_n - E_k|$$

3. При движении по стационарной орбите реализуется такое движение, при котором между линейной скоростью электрона на орбите радиусом орбиты

выполняется соотношение:
$$mvr = 2\pi n \hbar$$

Если атом обладает стационарным состоянием с двумя разными энергиями, то переходя из второго состояния в первое, он может излучать кванты

соответствующие разным частотам.
$$\nu = \frac{\Delta E}{h}$$



Используя законы механики, второй и третий постулат Бора, можно вывести формулу, устанавливающую частоту излучения при переходе из состояния с

номером n в состояние с номером k :

$$\nu_{nk} = R \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Где R – постоянная Ридберга, равная $3,29 \cdot 10^{15}$ Гц.

Недостатки теории Бора:

- Не смогла объяснить интенсивность спектральных линий
- Справедлива только для водородоподобных атомов
- Теория Бора логически противоречива: не является ни классической, ни квантовой.

1.7. Закономерности поглощения света красителями.

Поглощающее свет окрашенное, но прозрачное вещество приводит к тому, что свет, выходящий из слоя такого вещества, несет меньше энергии. Часть энергии переходит во внутреннюю. Закон Ламберта-Бугера-Бера - это закон, показывающий, насколько ослабляется поток монохроматического излучения при проходе через поглощающий слой.

$$I = I_0 e^{-\alpha l},$$

где I – интенсивность света, α – коэффициент, зависящий от концентрации вещества и вероятности поглощения излучения данной частоты данным веществом.

Если не учитывать отражения света от границ раздела сред, то для отношения интенсивности прошедшего света к интенсивности падающего света должно выполняться соотношение:

$$T = \frac{I}{I_0}$$

2. Использование газового разряда на практике.

2.1. Описание оборудования

Развитие современной техники привело к тому, что измерение физических величин все шире использует принципы оцифровывания аналоговых сигналов, внедрение датчиков физических величин, компьютерную обработку информации, полученной с таких датчиков.

Установка, которую мы использовали, состоит из корпуса держателя газоразрядной лампы, защитного экрана с блоком присоединения оптоволоконного кабеля и спектрометра (приложение 6).

Спектрометр подключается к USB – порту с помощью кабеля, через который получает необходимое для работы постоянное напряжение и отправляет данные о регистрируемом спектре на компьютер. Регистрация и обработка спектра ведется с помощью программы Enhanced Spectrometry Educational.

Кроме того, для опыта по исследованию прохождения света через пленку, использовали кюветное отделение, которое также подключается к спектрометру (приложение 8), лампу накаливания, 5 окрашенных (приложение 9) и 5 неокрашенных пластиковых прозрачных пленок.

2.2. Знакомство с основами спектрального анализа

В этом эксперименте идентифицировали газ путем регистрации спектра электрического разряда в газе и его сопоставления со спектрами известных газов. Длины волн некоторых ярких линий, наблюдающихся в спектрах газов:

Газ	$\lambda_{1, \text{нм}}$	$\lambda_{2, \text{нм}}$	$\lambda_{3, \text{нм}}$	$\lambda_{4, \text{нм}}$	$\lambda_{5, \text{нм}}$	$\lambda_{6, \text{нм}}$
Гелий	447,1	492,2	501,6	587,6	667,8	706,6
Неон	585,2	607,4	614,3	640,2	650,6	703,2

Криптон	557,0	587,1	760,2	769,5	785,5	810,4
Аргон	696,5	706,7	738,4	751,5	763,5	811,5
Водород	397,0	410,2	434,0	486,1	656,27	656,29
Кислород	436,7	441,5	459,1	464,9	664,1	672,1
Азот	399,2	463,0	500,5	568,0	648,2	661,0

Взяли 5 трубок, заполненных газами: аргон, водород, гелий, криптон, неон. Заранее неизвестно каким газом заполнена трубка.

Поочередно установив каждую из газоразрядных ламп с номерами 1-5 в кожух источника питания, мы измерили длины волн наиболее интенсивных линий в спектре, для каждой из ламп, с помощью графиков спектрограммы (приложение 1-5), и заполнили следующую таблицу, сопоставив полученные данные с данными в таблице выше:

Номер трубки	$\lambda_{1, \text{нм}}$	$\lambda_{2, \text{нм}}$	$\lambda_{3, \text{нм}}$	$\lambda_{4, \text{нм}}$	Газ
1	-	433,8	486,1	656,25	Водород
2	-	587,7	667,9	706,6	Гелий
3	585,2	614,3	640,1	703,2	Неон
4	557,0	587,1	-	-	Криптон
5	696,5	706,7	-	-	Аргон

Полученные названия газов совпали с названиями, которые надо было идентифицировать. Промахи, которые не стали указывать в таблице, и погрешности обусловлены внешними условиями, в частности, шумами (посторонний свет в помещении). Также в таблицу не вошли значения, которые выходили за пределы рассматриваемых интервалов. Выяснили, что количество линий на графике зависимости интенсивности от длины волны зависит от выбираемой экспозиции и времени.

2.3. Рассмотрение спектра водорода и модели атома Н. Бора на практике

Мы рассмотрели изменение длин волн спектра атомарного водорода и сопоставили полученный спектр с предписаниями полуклассической теории строения атома водорода указанной выше в пункте 1.6.

Видимые линии в спектре атома водорода описываются серией Бальмера, наблюдающейся для переходов между вторым энергетическим уровнем атома и вышележащими уровнями. Четыре первые линии серии Бальмера лежат в видимой области спектра, мы рассмотрели их с помощью дифракционной решетки (приложение 7).

Линейчатый спектр водорода:



И построили таблицу:

Номер линии	1	2	3	4
Цвет	Красный	Зеленый	Голубой	Синий
Длина λ , нм	656,2	486,1	434,0	410,2
Частота ν , Гц	$0,46 \cdot 10^{15}$	$0,69 \cdot 10^{15}$	$0,62 \cdot 10^{15}$	$0,73 \cdot 10^{15}$
$\Delta E \nu_{kn}$, эВ	1,89	2,55	2,86	3,02
Номер состояний, соответствующих излучению фотона, $k \rightarrow n$	$3 \rightarrow 2$	$4 \rightarrow 2$	$5 \rightarrow 2$	$6 \rightarrow 2$
Теоретическое значение λ_{kn} , нм	656,3	486,1	434,1	410,2

График зависимости интенсивности от длины волны представлен в приложении 1.

Для расчетов использовали формулы из теоретической части.

2.4. Закономерности поглощения света при прохождении через пленку

В этом эксперименте проверяли, подчиняется ли поглощение света красителями закону Бугера-Ламберта-Бера. Измерили интенсивность линий спектра лампы накаливания для границ красного и синего цветов. Сначала измерение провели без пленки, затем с одной пленкой, с двумя пленками и т.д. Последнее измерение с пятью пленками. Вычислили коэффициент пропускания света пленкой (отношение интенсивности линии спектра к интенсивности соответствующей линии с пленками различной толщины) и построили таблицы и графики зависимости.

Таблица интенсивности и количества окрашенных пленок для граничных значений красных и синих длин волн (графики зависимости интенсивности от длины волны в приложениях 11-16 в том же порядке, что и в таблице):

Количество пленок	$I(\lambda_1)$, Вт/м ² красный	$I(\lambda_2)$, Вт/м ² красный	$I(\lambda_1)$, Вт/м ² синий	$I(\lambda_2)$, Вт/м ² синий
0 (чистый свет лампы)	40281,6	31744,9	4699,9	2431,9
1	28301,9	23617,8	3426,1	1832,2
2	16686,1	14512,8	3155,2	1532,9
3	10645,9	9380,1	2110,6	1240,8
4	5918,3	5759,3	1488,6	793
5	4302,8	3627,1	1208,7	632

По данным таблицы построили графики зависимости коэффициента пропорциональности от количества окрашенной в синий цвет пленки в кюветном отделении (по вертикали указаны значения коэффициента пропускания, по горизонтали количество пленок):

График для двух красных волн разной длины:

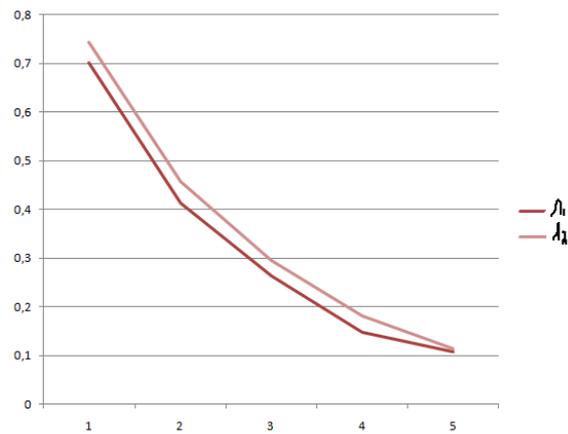
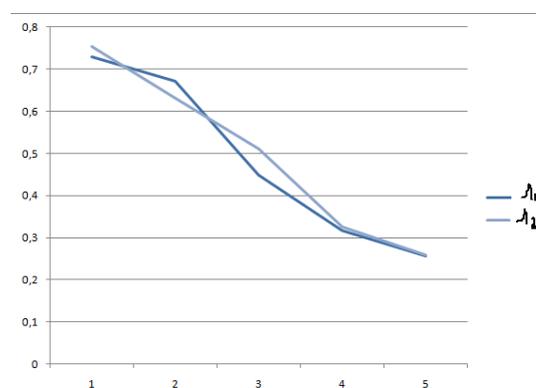
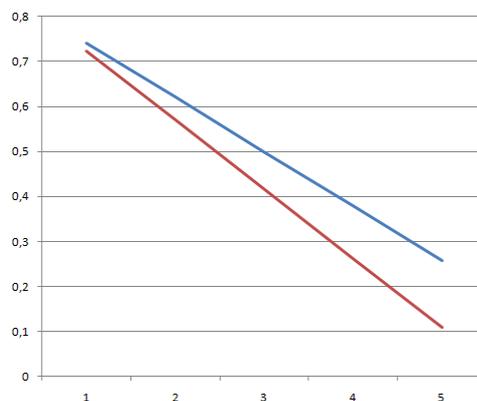


График для двух синих волн разной длины:



Сравнительный график с усредненными значениями для красных и синих волн:



На основании этих графиков и расчетов можно сделать вывод, что:

- коэффициент пропускания для нижнего значения красной волны больше, чем для верхнего, т.к. нижнее значение имеет меньшую длину волны (находится ближе к синему цвету) и, соответственно, лучше пропускается синей пленкой, при этом, изменение коэффициента пропускания для

красного цвета примерно одинаково для разного количества пленок (сравнивались средние значения изменений для большей и меньшей длин волн), аналогично и для синих волн;

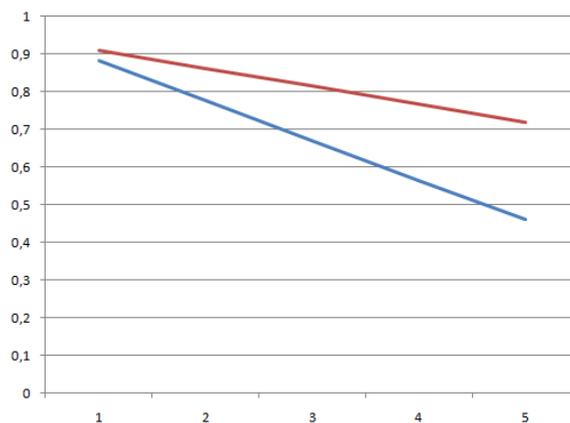
- по мере уменьшения интенсивности она усреднялась для красного цвета (значения становились ближе друг к другу) и разница между оттенками красного становилась минимальна; интенсивность красных длин волн изменялась почти в 2 раза, изменение синих длин волн не превышало 1,5 (без учета промахов), средние изменения коэффициентов пропускания для красного цвета 0,1536, для синего 0,1208, значит, интенсивность красной волны уменьшалась быстрее (это видно из последнего графика).

Затем был проведен опыт для неокрашенной пленки такой же толщины.

Таблица зависимости интенсивности от количества неокрашенных пленок для наиболее интенсивных линий красной и синей волн (графики зависимости интенсивности от длин волн в приложениях 17-21 в том же порядке, что и в таблице):

Количество пленок	$I(\lambda_1)$, Вт/м ² красный	$I(\lambda_2)$, Вт/м ² синий
1	34622,5	5989,9
2	30581,4	5027,8
3	28717,9	4443,5
4	27157,3	4381,8
5	23223,6	3579

На основании таблицы построили график зависимости коэффициента пропускания (по вертикали) от количества неокрашенных пленок (по горизонтали):



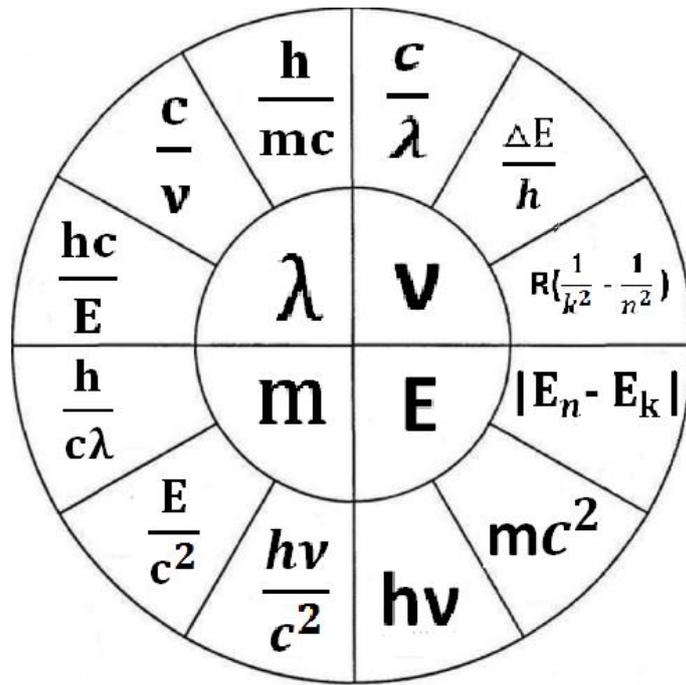
Изменение коэффициента пропускания для красной волны мало отличается от изменения коэффициента пропускания для синей волны.

Заключение

В ходе данной работы изучили теоретический материал по теме, познакомились с принципом работы спектроскопа и спектрометра, изучили метод спектрального анализа и экспериментально получили спектры газов. На вид спектра могут оказать влияние внешние эффекты (например, посторонний источник света), также вид спектра зависит от выбираемого интервала времени, чем меньше берется счетов в секунду, тем график получается нагляднее и позволяет более детально рассмотреть длины волн в спектрах газов. При большем количестве экспозиций график имеет больше спектральных линий. Используя полученные экспериментально спектры газов, были вычислены длины волн линий спектра. Полученные результаты были сопоставлены с табличными данными и позволили идентифицировать газы по их спектрам.

Проверили гипотезу, что интенсивность света, проходящего через пленку, уменьшается при увеличении толщины пленки. Гипотеза подтвердилась. Окрашенная пленка в большей степени поглощает свет, цвет которого значительно отличается от цвета пленки. Для бесцветной пленки волны разного цвета поглощаются одинаково.

Изучив теорию по газовому разряду, мы рассмотрели теорию атома Бора на практике. Убедившись в правильности полученных данных, мы построили круг с формулами, которые вы можете использовать для проведения лабораторных работ или решения задач по данной теме.



Источники

<https://bigenc.ru/physics/text/4928527> -10.02.20

<https://fizclass.ru/vidy-gazovyx-razryadov/> -10.02.20

<https://rus-physical-enc.slovaronline.com/5160->

[%D0%AD%D0%9B%D0%95%D0%9A%D0%A2%D0%A0%D0%9E%D0%9B%D0%AE%D0%9C%D0%98%D0%9D%D0%95%D0%A1%D0%A6%D0%95%D0%9D%D0%A6%D0%98%D0%AF](https://rus-physical-enc.slovaronline.com/5160-%D0%AD%D0%9B%D0%95%D0%9A%D0%A2%D0%A0%D0%9E%D0%9B%D0%AE%D0%9C%D0%98%D0%9D%D0%95%D0%A1%D0%A6%D0%95%D0%9D%D0%A6%D0%98%D0%AF) -10.02.20

<https://megabook.ru/article/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%81%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F>-10.02.20

http://class-fizika.ru/11_58.html-10.02.20

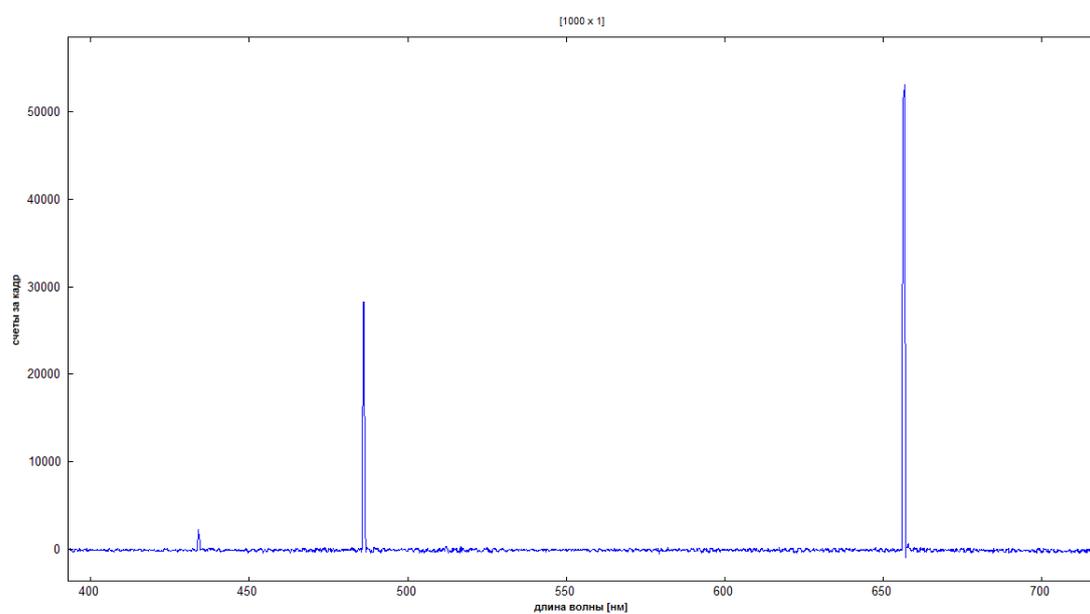
<https://www.sites.google.com/site/opatpofizike/teoria/teoria-11-klass/izlucenie-i-spektry>-10.02.20

<https://www.13min.ru/nauka/spektralnyj-analiz-vidy-spektralnogo-analiza/>-10.02.20

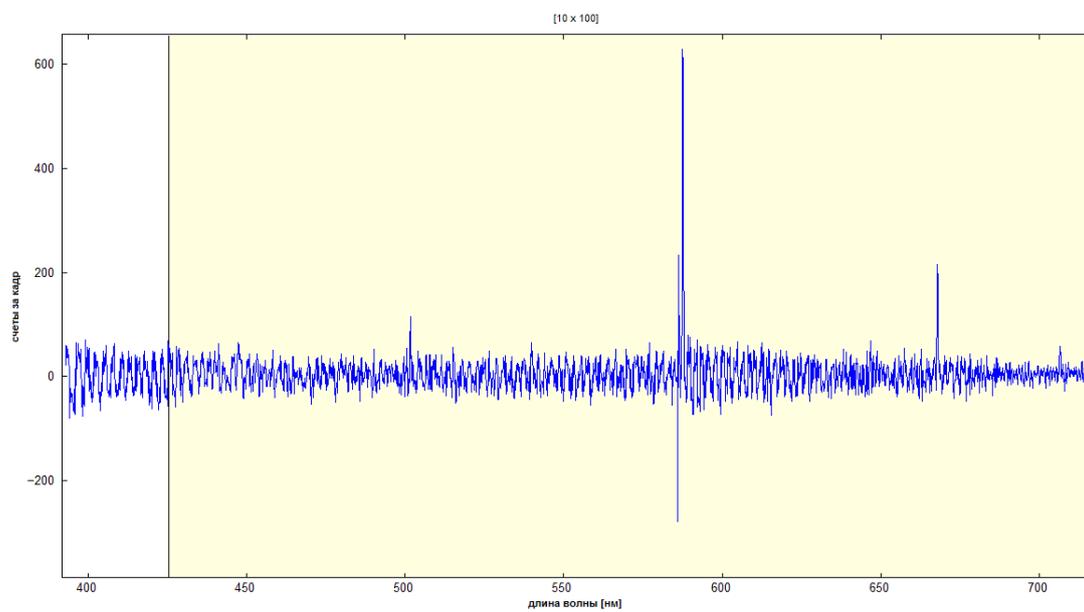
<http://light-fizika.ru/index.php/8-fizika/162-spektry-i-spektralnyj-analiz>-10.02.20

https://zen.yandex.ru/media/just_science_chanel/tleiuscii-razriad-5c1a782aeef61d00ab64dcdb-10.02.20

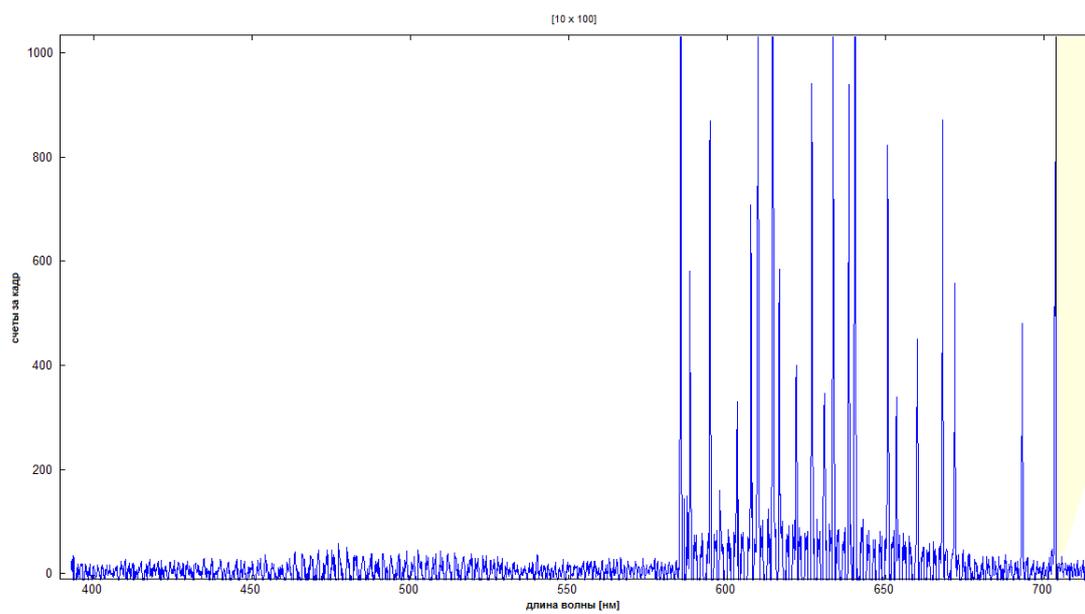
Приложение 1



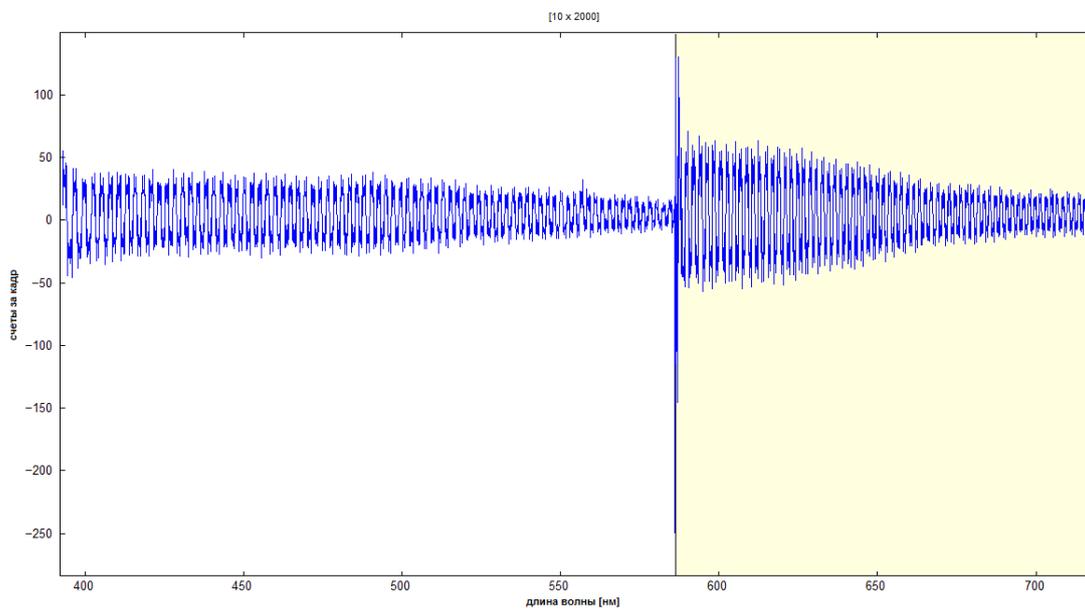
Приложение 2



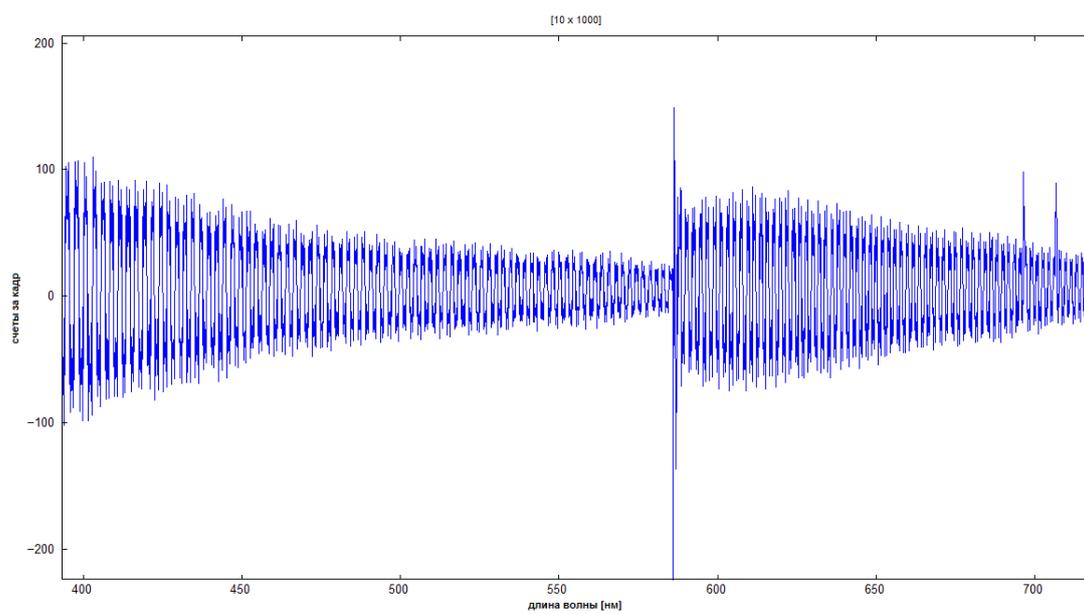
Приложение 3



Приложение 4



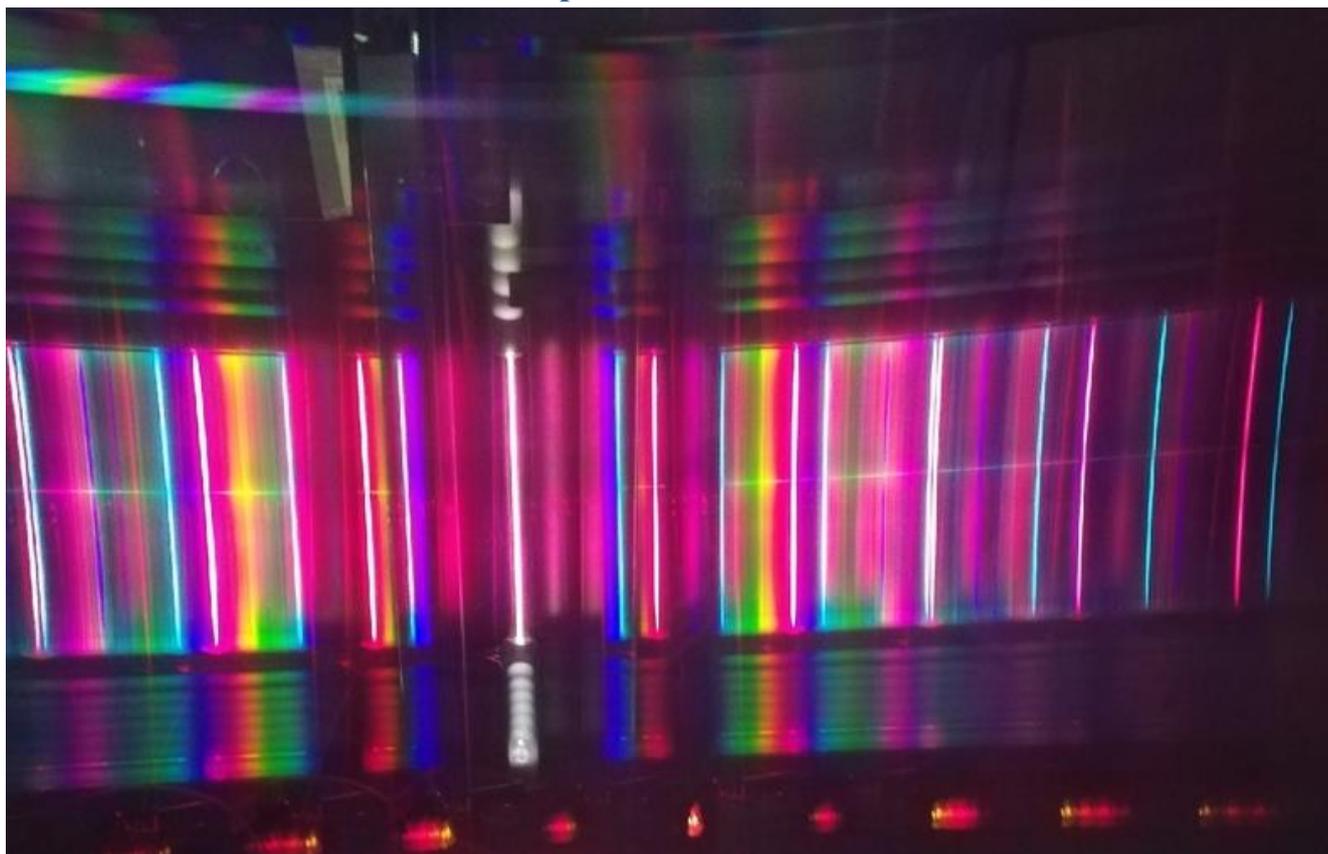
Приложение 5



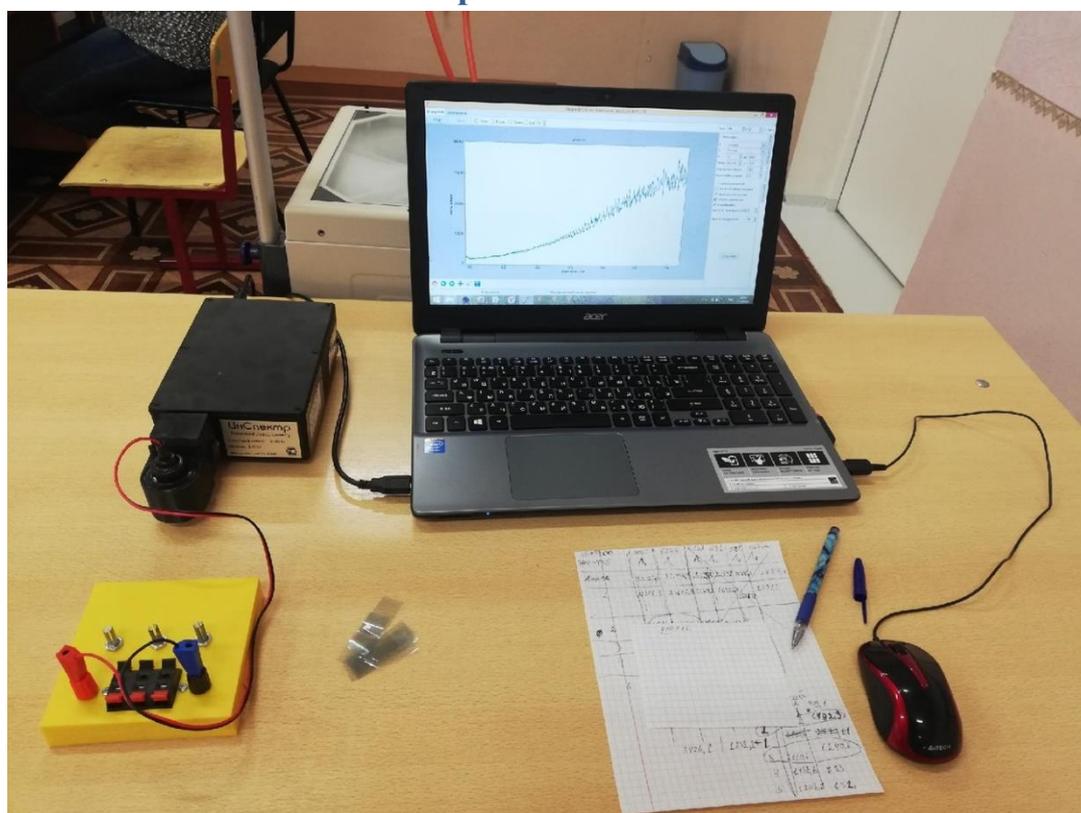
Приложение 6

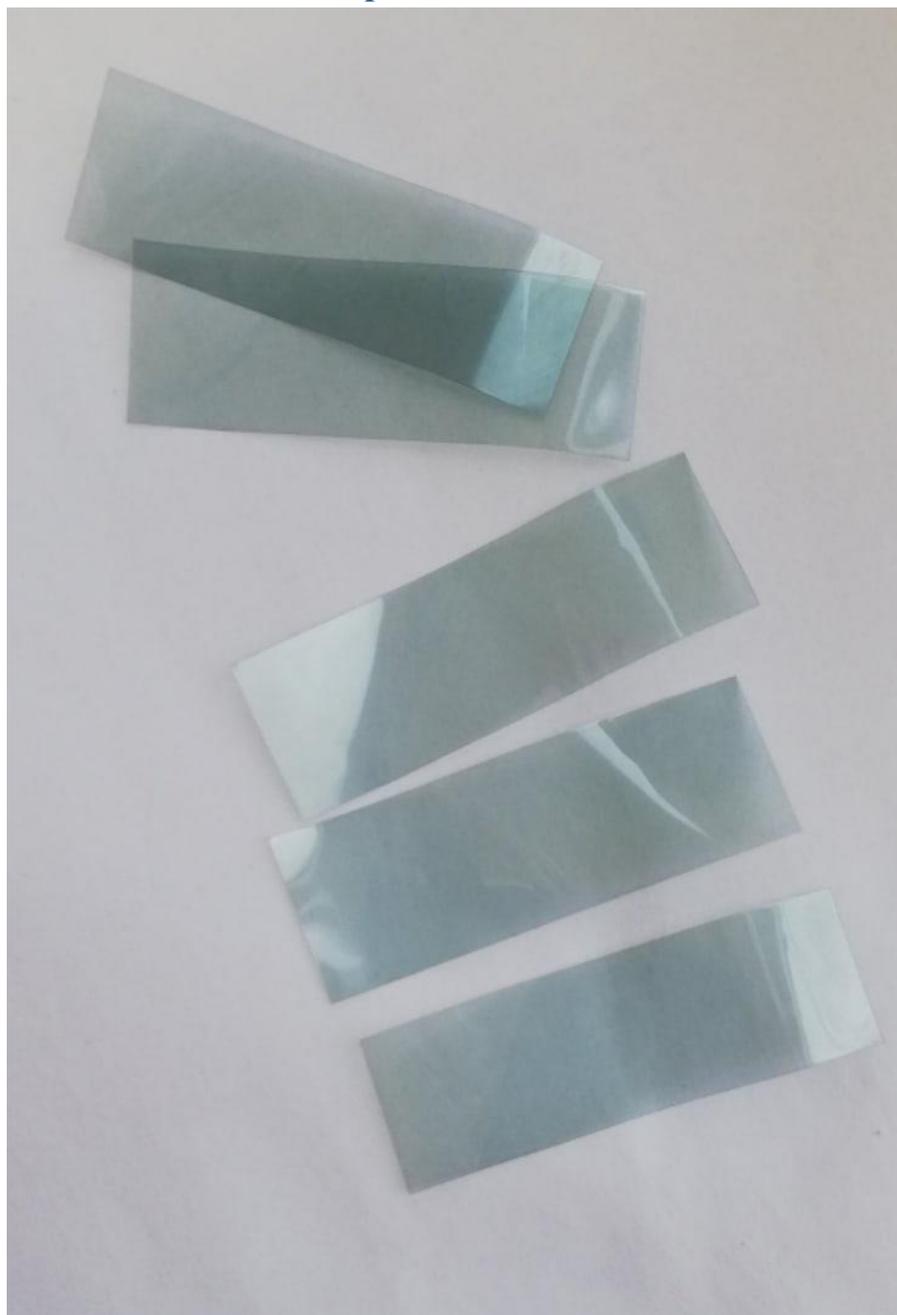


Приложение 7

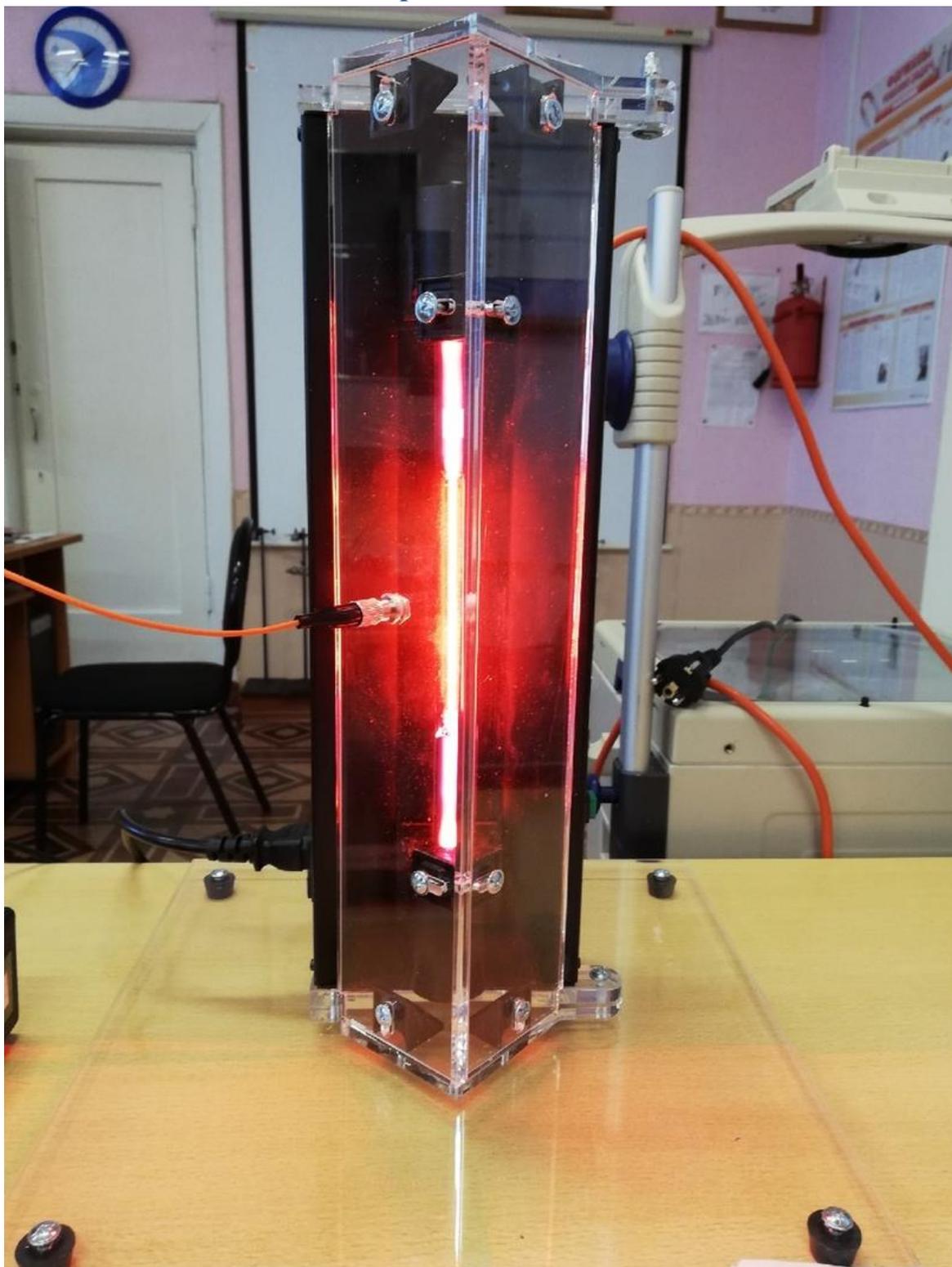


Приложение 8

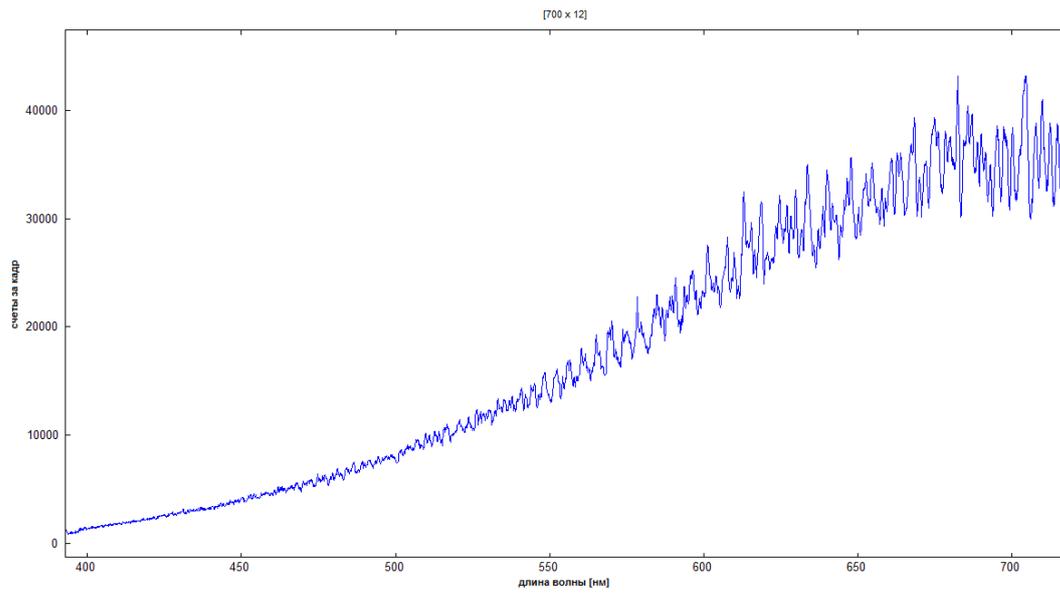


Приложение 9

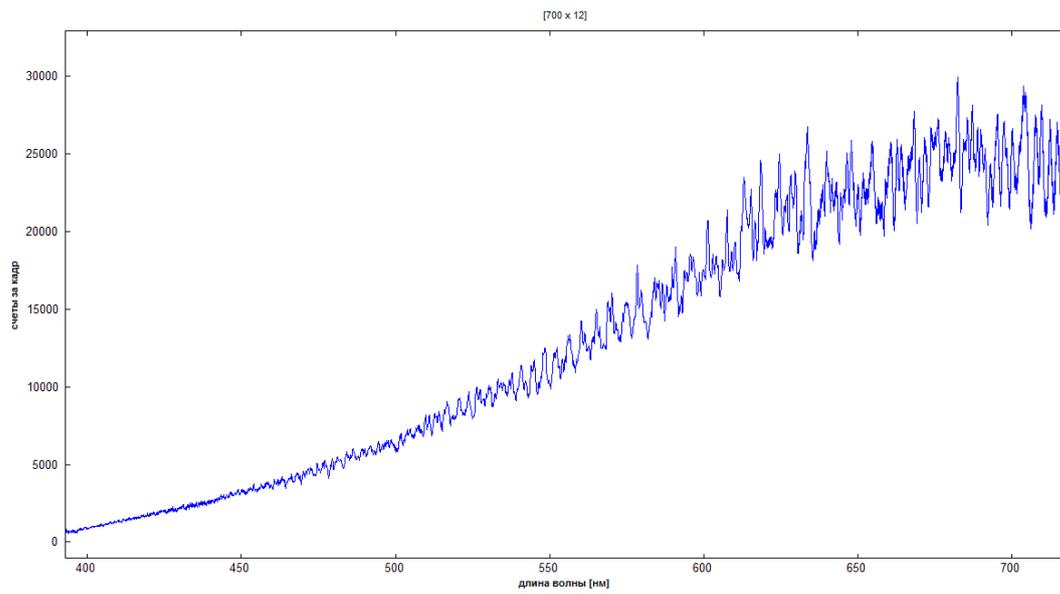
Приложение 10



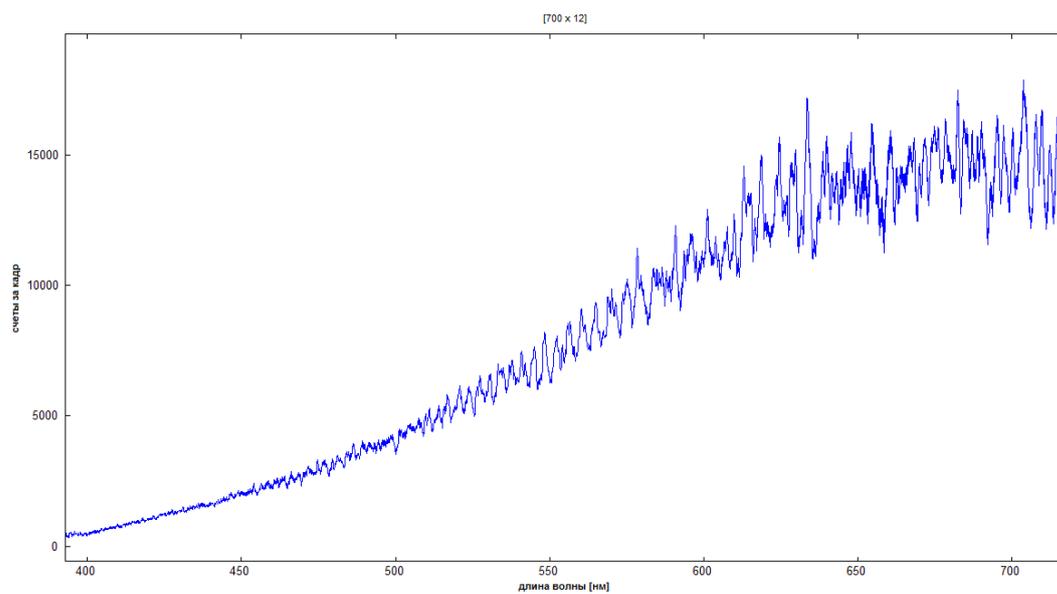
Приложение 11



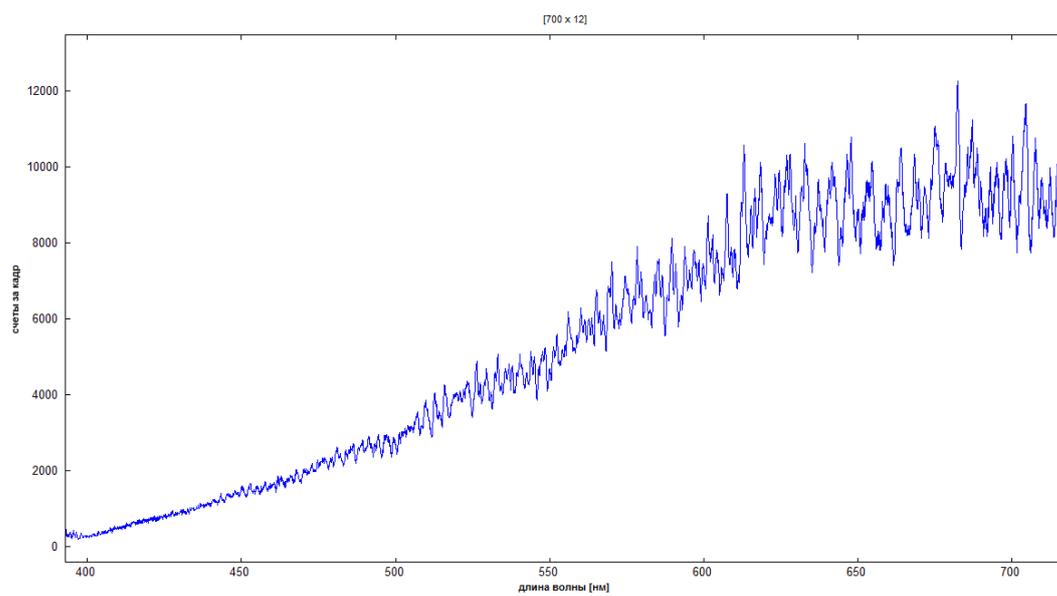
Приложение 12



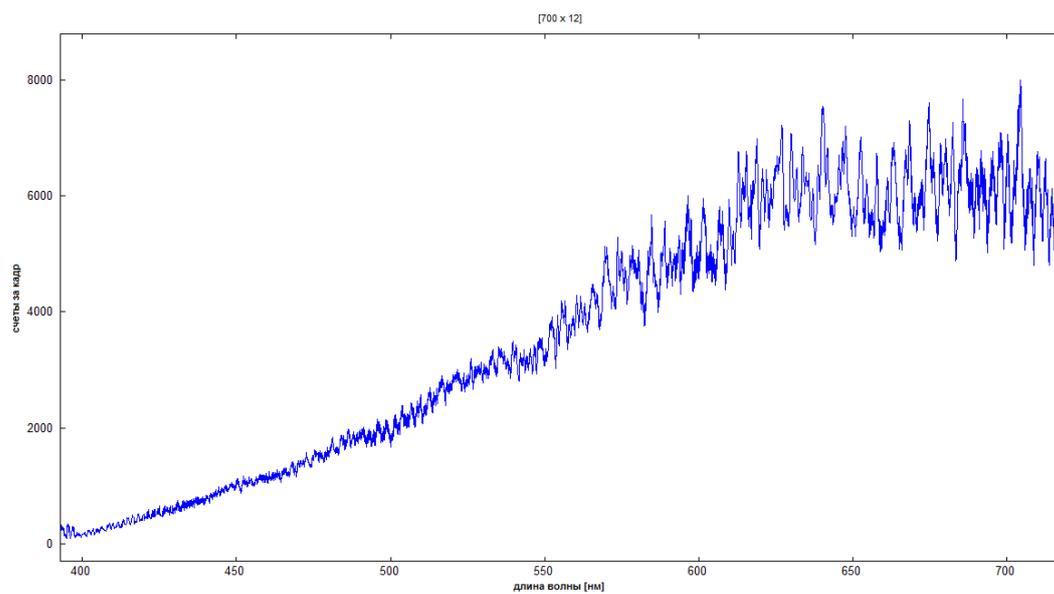
Приложение 13



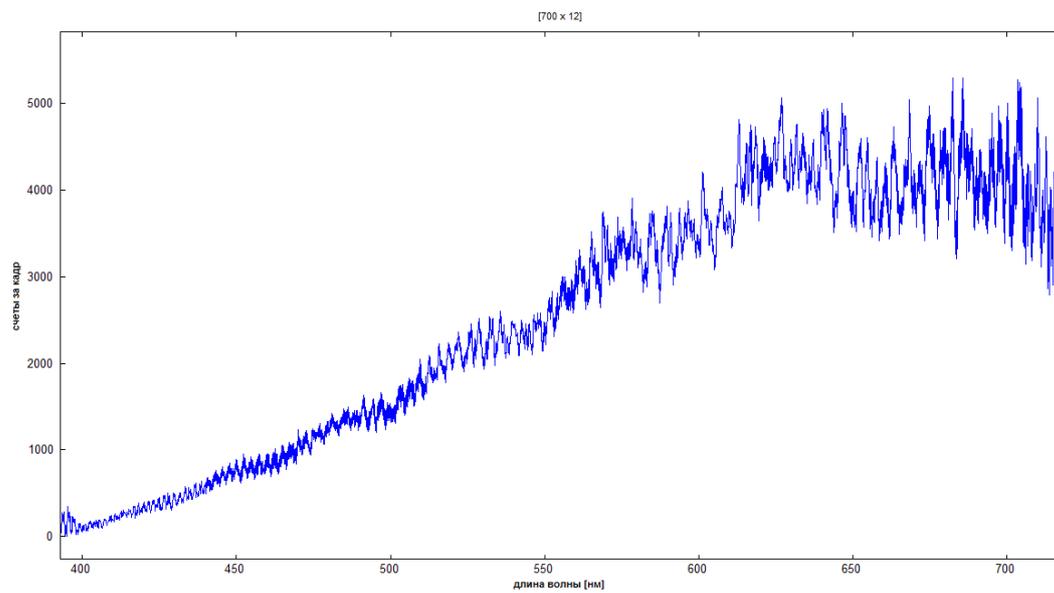
Приложение 14



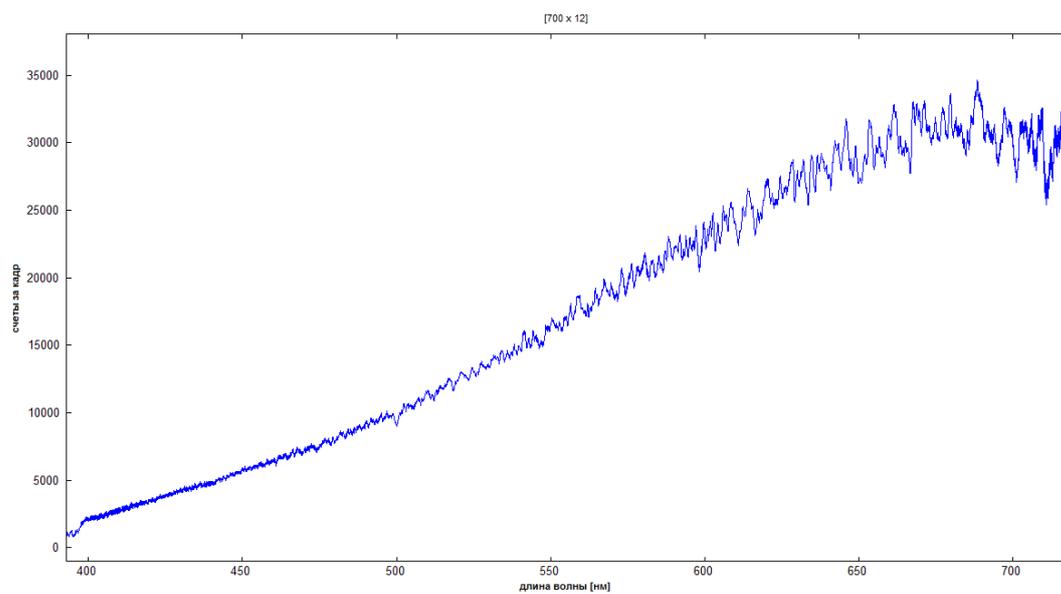
Приложение 15



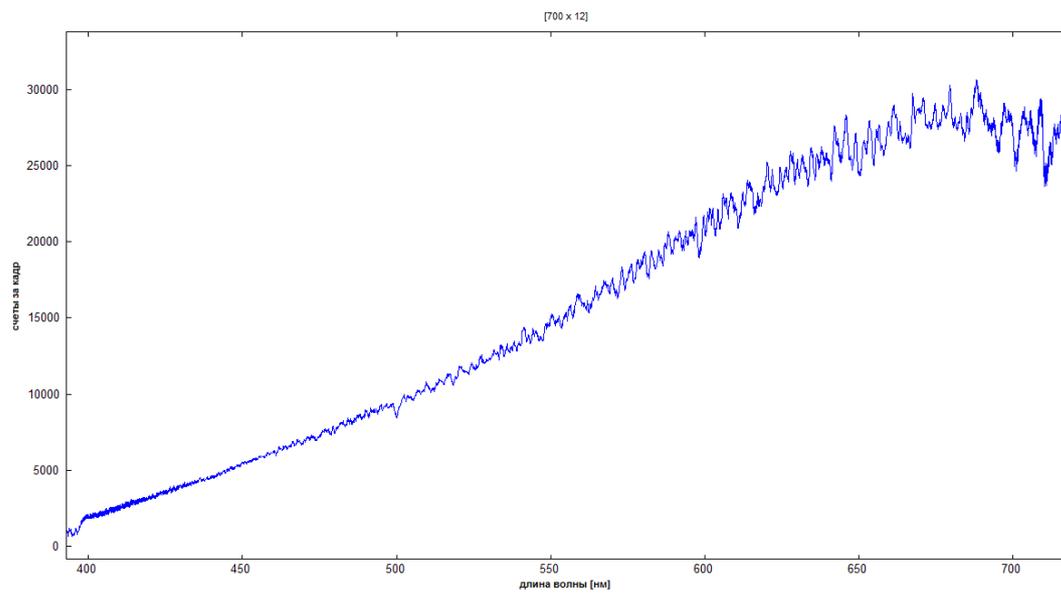
Приложение 16



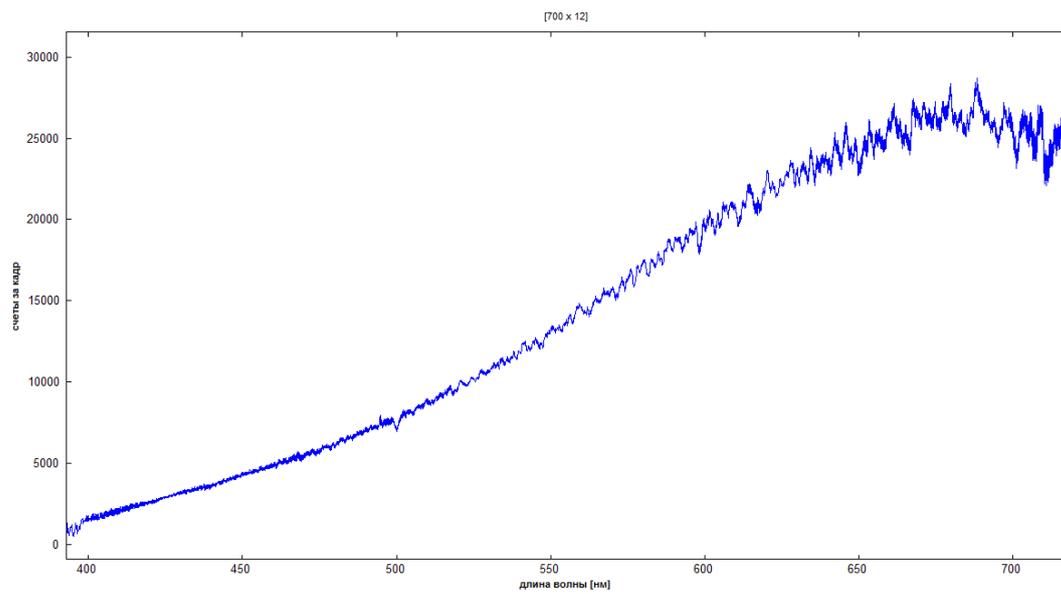
Приложение 17



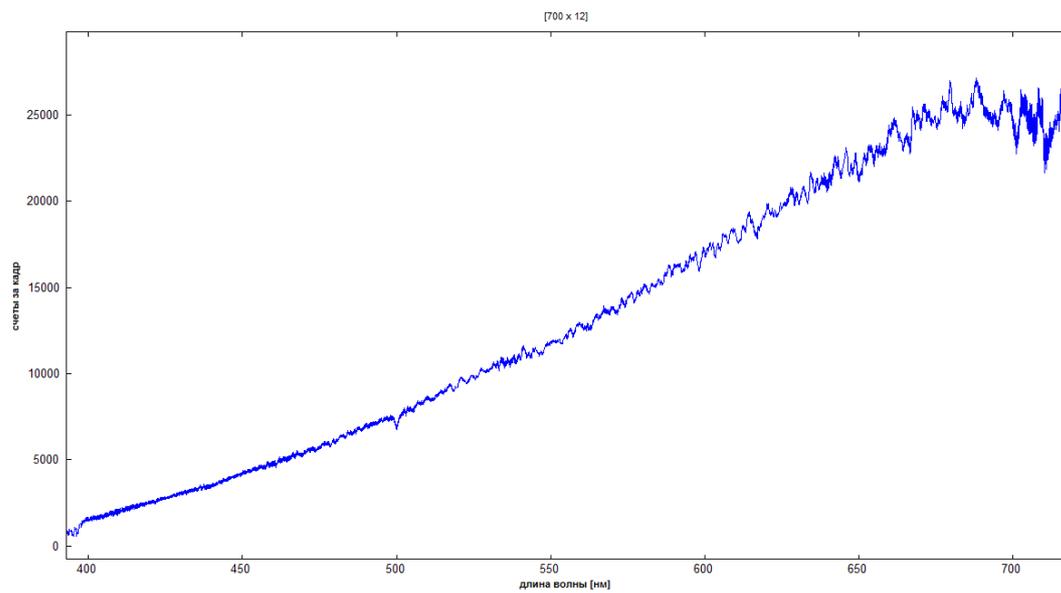
Приложение 18



Приложение 19



Приложение 20



Приложение 21

