

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОПТИКА

Рабочая тетрадь

студента _____ *группы*

факультета _____

Ф.И.О. _____

Барнаул
2018

Содержание и визирование

<i>Теоретические и практические основы измерений</i>				
<i>Лабораторная работа № 1. Определение показателя преломления растворов при помощи рефрактометра</i>				
<i>Лабораторная работа № 4. Определение концентрации вещества в растворе фотозлектроколориметром</i>				
<i>Лабораторная работа № 5. Определение концентрации сахара в растворе сахариметром</i>				
<i>Лабораторная работа № 7. Исследование вакуумного фотоэлемента</i>				
<i>Лабораторная работа № 8. Изучение принципа действия лазера и его применение для определения ширины узкой щели</i>				

Правила построения графиков

Во многих случаях оказывается удобным графически изображать зависимость между изучаемыми величинами. При этом необходимо руководствоваться следующими правилами.

1. При построении графика значения независимой переменной откладываются по горизонтальной оси (оси абсцисс), а значения функции – по вертикальной оси (оси ординат). В качестве независимой переменной или функции может выступать как сама функция, так и какая-либо ее степень или комбинация нескольких физических величин.

Величины, откладываемые по осям, должны указываться вместе со своими единицами измерений.

2. Исходя из пределов изменения независимой переменной и функции, необходимо выбрать независимые друг от друга масштабы по осям. График должен располагаться в центре координатной плоскости или четверти.

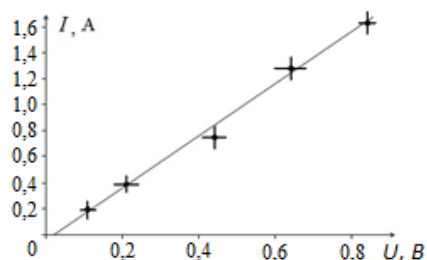
3. Для упрощения построения графика удобно на основании измерений составить таблицу, в которой каждому значению независимой переменной соответствует значение функции.

4. Экспериментальные точки наносятся на график с учетом погрешностей. Числовые значения экспериментальных точек и погрешностей на графике не наносятся. Вспомогательные линии для построения графика, например, штрихованные, проводить нельзя, так как они ухудшают наглядность графика.

5. При построении графика следует разумно выбирать масштабы по осям так, чтобы экспериментальные точки располагались по всей координатной плоскости. Для этого, при необходимости, допускается смещение нуля по одной или обеим осям.

6. После построения экспериментальных точек проводится плавная кривая так, чтобы, по возможности, она проходила внутри интервалов погрешности. Следует заранее задуматься о виде кривой (прямая, гипербола, парабола и т.д.) исходя из известных теоретических представлений (формул).

Если какая-либо точка находится в стороне от проведенного графика, то на нее следует обратить особое внимание, возможно при данном измерении была допущена ошибка. Если это не так, то в районе этой точки искомая зависимость имеет резко выраженную особенность. Такие особенности представляют наибольший интерес. Поэтому необходимо внимательно промерить область вблизи этой точки.



Пример. Построим график зависимости силы тока, текущего по проводнику, от напряжения на его концах (рис.1).

В результате эксперимента получены следующие значения этих величин с соответствующими абсолютными погрешностями:

Рис. 1. График зависимости $I = f(U)$

№ опыта	I, A	$\Delta I, A$	U, B	$\Delta U, B$
1	0,19	0,07	0,11	0,02
2	0,39	0,06	0,21	0,03
3	0,75	0,08	0,44	0,03
4	1,28	0,07	0,64	0,04
5	1,63	0,08	0,84	0,02

1. Нарисуем координатную плоскость.
 2. Выберем масштаб таким образом, чтобы максимальное значение силы тока было равно 1,7 А, а максимальное значение напряжения 0,9 В.
 3. Обозначим координатные оси.
 4. Нанесем экспериментальные точки с соответствующими погрешностями.
 5. Проведем экспериментальную кривую так, чтобы она не выходила за пределы погрешностей.
- По графику можно определить численное значение искомой величины и ее абсолютную погрешность.

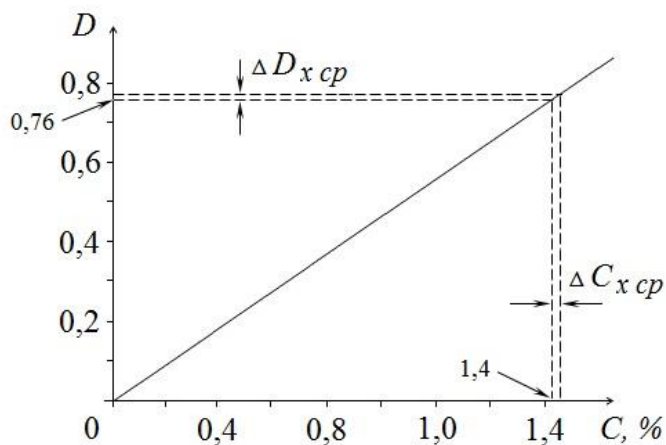


Рис. 2. Определение абсолютной погрешности графически

$\Delta C_{x\text{cp}}$. Он равен 0,02 %. Окончательный результат запишется в виде $C_{x\text{cp}} = (1,42 \pm 0,02)\%$.

Пример. Определение концентрации C раствора по его оптической плотности D . В этой работе сначала измеряется оптическая плотность нескольких растворов с известной концентрацией C и на основании данных строится график зависимости $D=f(C)$ (рис. 2). Затем измеряется величина оптической плотности D_x раствора неизвестной концентрации. Пусть она была измерена 3 раза и оказалась равной 0,76, 0,78, 0,75. Среднее значение $D_{x\text{cp}}=0,76$, а средняя абсолютная ошибка $\Delta D_{x\text{cp}}=0,01$. По графику находят значение концентрации $C_{x\text{cp}}$ соответствующее среднему значению $D_{x\text{cp}}$. В рассмотренном случае $C_{x\text{cp}}=1,42\%$. Около значения $D_{x\text{cp}}$ на оси ординат откладывают $\Delta D_{x\text{cp}}$, по графику находят, какой отрезок соответствует ему на другой оси

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ РАСТВОРОВ ПРИ ПОМОЩИ РЕФРАКТОМЕТРА

Цель работы: изучить принцип работы рефрактометра; исследовать зависимость показателя преломления раствора от концентрации; определить концентрацию сахара в растворе.

Оборудование: рефрактометр ИРФ-454, пипетка, растворы сахара различной концентрации, фильтровальная бумага.

Описание установки

В работе для определения показателей преломления жидкостей используется рефрактометр ИРФ-454 (рис.2), оптическая схема которого показана на рисунке 1.

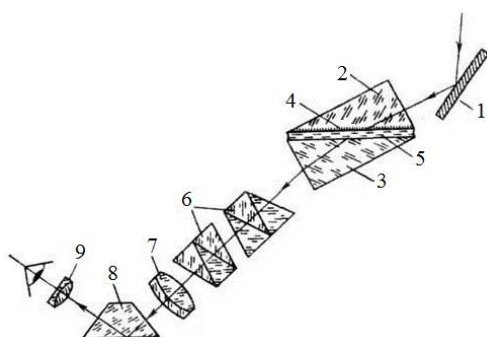


Рис.1. Оптическая схема рефрактометра ИРФ-454

Исследуемое вещество 5 помещается в зазоре между двумя прямоугольными призмами 2 и 3. Верхняя призма 2 подвижная. Её нижняя гипотенузная грань 4 матовая. В рефрактометре используется источник белого света, направляемый зеркалом 1, поэтому вследствие зависимости показателя преломления от длины волны (*дисперсии*) при прохождении светом призм 2 и 3, граница света и тени оказывается окрашенной. Во избежание этого перед объективом зрительной трубы 7 помещают компенсатор 6. Он состоит из двух одинаковых призм, каждая из которых склеена из трех призм, обладающих различными показателями преломления. Призмы подбирают так, чтобы монохроматический луч с длиной волны $\lambda=589,3$ нм не испытывал после

прохождения компенсатора отклонения. Лучи с другими длинами волн отклоняются призмами в различных направлениях. Перемещение призм компенсатора осуществляется с помощью маховичка 8 (рис. 2), добиваясь того, чтобы граница света и темноты была более резкой. Изображение границы раздела свет-тень рассматривается в окуляр 9 зрительной трубы. Призма 8 называется поворотной и используется для направления света в окуляр. Также в окуляр видна шкала на которой сразу нанесены значения показателя преломления. В общей фокальной плоскости объектива и окуляра зрительной трубы помещают стеклянную пластинку, на которую нанесена визирная линия (или крест, образованный тонкими нитями). Перемещением зрительной трубы добиваются совпадения визирной линии с границей свет-тень и по шкале определяют показатель преломления исследуемой жидкости.

Внешний вид рефрактометра ИРФ-454 представлен на рисунке 5.

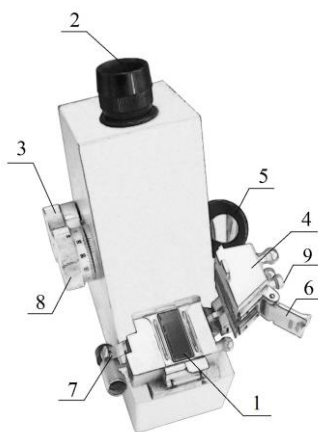


Рис. 2. Устройство рефрактометра ИРФ-454

- 1— измерительная призма;
- 2 — окуляр;
- 3 — маховичок перемещения шкалы;
- 4 — осветительная призма;
- 5 — зеркало освещения поля зрения;
- 6 — заслонка осветительной призмы;
- 7— защёлка;
- 8 — маховичок компенсатора.

Порядок выполнения работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений:

№ раствора	C, %	№ п/п	n_2	Δn_2	$E_{n_2}, \%$
1	1	1			
		2			
		3			
		среднее			
2	5	1			
		2			
		3			
		среднее			
3	7	1			
		2			
		3			
		среднее			
4	X	1			
		2			
		3			
		среднее			

2. Подготовьте прибор к работе:

- а) откройте защёлку 7 и откиньте осветительную призму 4 за рукоятку 9 (рис. 2).
- б) при помощи пипетки нанесите 2-3 капли дистиллированной воды на поверхность измерительной призмы 1. Осторожно закройте ее осветительной призмой 4.
- в) направьте свет на осветительную призму при помощи заслонки 6.
- г) поворотом зеркала 5 добейтесь наилучшей освещенности поля зрения и установите окуляр 2 на отчетливую видимость шкалы и перекрестия визирных линий.
- д) вращая маховичок компенсатора 8, добейтесь полного устранения окрашенности границы раздела света и тени.
- е) с помощью маховичка перемещения шкалы 3, точно установите перекрестие на границу светлого и темного полей и произведите отсчет показателя преломления воды $n_{\text{воды}}$ по шкале. *Отсчет должен равняться 1,333.*
- ж) осторожно удалите воду фильтровальной бумагой с поверхности призмы.

3. Пипеткой нанесите поочередно на нижнюю призму 1 растворы различной концентрации и, совмещая перекрестие с границей раздела свет-тень, определите по шкале показатели преломления n_2 растворов. Запишите результаты измерений в таблицу.

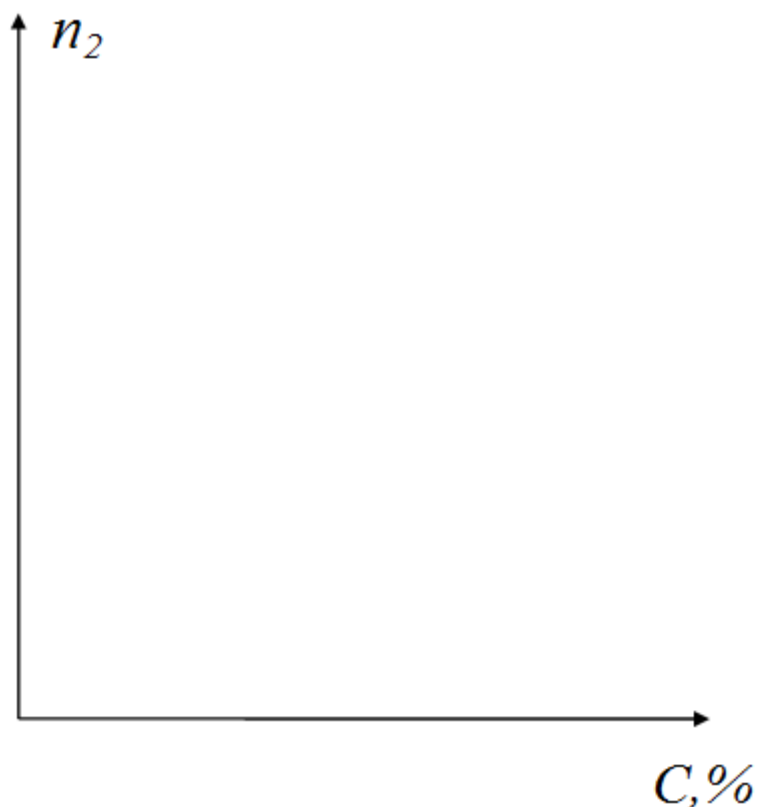
Примечание. После каждого опыта удалите раствор фильтровальной бумагой, затем протрите призмы сначала тряпочкой смоченной в воде, а затем сухой чистой тряпочкой.

4. Для каждого раствора повторите измерение показателя преломления ещё два раза, записывая результаты в таблицу.

5. В конце опытов удалите раствор фильтровальной бумагой, затем протрите призмы сначала тряпочкой смоченной в воде, а затем сухой чистой тряпочкой. Оставьте верхнюю осветительную призму 4 в открытом положении.

Обработка результатов измерений

- Определите среднее значение n_2 для каждого раствора. Запишите результаты в таблицу.
- Определите относительную и абсолютную погрешности измерений n_2 для каждого раствора методом среднего значения и запишите результаты в таблицу.
- Определите средние значения относительной и абсолютной погрешностей измерений n_2 для каждого раствора. Запишите результаты в таблицу.
- Постройте график зависимости показателя преломления раствора сахара от его концентрации $n_2 = f(C)$.



5. Определите по графику концентрацию C_x неизвестного раствора.
6. Определите относительную и абсолютную погрешности измерений C_x графическим методом (см. пример на стр. 15).
7. Конечный результат представьте в виде:

$$C_x = (C_{xcp} \pm \Delta C_{xcp}) \% ; E_{C_x} = \dots \% .$$

$$C_x = \quad \% ; E_{C_x} =$$

Сделайте вывод, в котором охарактеризуйте, как полученный результат соответствует табличному (см. прил.3,4)., и какими причинами могут быть обусловлены неполные соответствия результатов

ВЫВОД:

Контрольные вопросы

№	Вопрос	Ответ
1.	Сформулируйте основные законы геометрической оптики.	

2.	Что называют световым лучом?	
3.	Дайте понятия абсолютного и относительного показателей преломления вещества.	
4.	В каких единицах измеряют абсолютный и относительный показатели преломления в СИ?	
5.	Какой угол называется предельным углом преломления?	
6.	Какой угол называется предельным углом отражения?	
7.	В чем заключается явление полного внутреннего отражения?	
8.	В чём заключается принцип обратимости световых лучей?	
9.	Каково устройство и принцип работы рефрактометра.	
10.	Как по градуировочному графику определить неизвестную концентрацию раствора?	
11.	Где на практике можно применять рефрактометрический метод определения концентрации сахара в растворах.	

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЕЩЕСТВА В РАСТВОРЕ ФОТОЭЛЕКТРОКОЛОРИМЕТРОМ

Цель работы: изучить явление поглощения света при прохождении его через вещество; ознакомиться с устройством, принципом действия фотоэлектроколориметра и получить навыки работы с ним; определить концентрацию вещества в растворе фотометрическим методом.

Оборудование: фотоэлектроколориметр КФОУ-4 с принадлежностями, растворы исследуемого вещества различной

Описание установки

Колориметры – приборы, с помощью которых производятся оптические измерения с использованием световых потоков различной длины волны. Название этих приборов происходит от латинского слова color, что в переводе на русский язык означает цвет.

КФО – колориметр фотоэлектрический однолучевой – предназначен для измерения коэффициентов пропускания прозрачных сред в видимой области спектра.

Оптическая схема прибора КФО показана на рисунке 1:

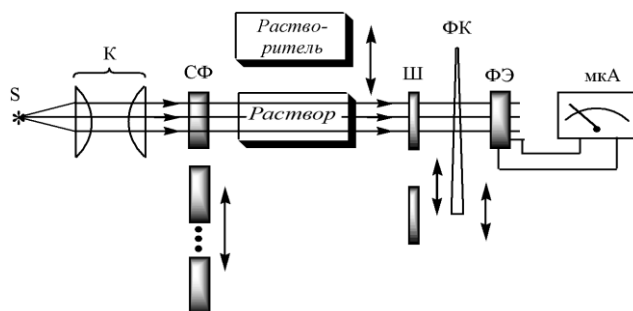


Рис. 1. Оптическая схема фотоэлектроколориметра

На этой схеме S – источник света – электрическая лампочка, нить накаливания которой имеет непрерывный спектр излучения, т.е. излучает во всем диапазоне длин световых волн.

К – конденсор – система из двух плоско-выпуклых линз, с помощью которой формируется параллельный световой поток – световой луч.

Далее на пути этого луча находится светофильтр СФ. В приборе КФО имеется обойма из шести светофильтров; поворот этой обоймы и введение в световой луч нужного светофильтра осуществляется с панели прибора рукояткой «Поглотители». Каждый из светофильтров имеет свою рабочую длину волны, и сквозь него проходит наилучшим образом свет именно этой длины волны, а остальные поглощаются.

Далее по ходу луча следует кюветное отделение. Под его крышкой помещаются две кюветы. В одной из них – исследуемый раствор в другой – вещество, являющееся растворителем в этом растворе. Переключатель «Кюветы» на панели прибора имеет два рабочих положения. С его помощью в световой луч вводится нужная кювета.

При открытой крышке кюветного отделения ход рабочего светового луча на фотоэлемент перекрыт шторкой Ш. Именно в этом состоянии прибора (крышка кюветного отделения открыта, а шторка Ш, наоборот, закрыта), производится установка нуля на шкале микроамперметра мкА; для этих целей на панели прибора предусмотрена рукоятка «Установка нуля».

Далее по схеме располагается фотометрический клин ФК. Он представляет собой стеклянную пластину клиновидной формы. С помощью рукоятки «Установка 100» он может вдвигаться в рабочий световой луч, ослабляя его в большей или меньшей степени.

В фотоэлементе ФЭ энергия светового потока преобразуется в электрическую разность потенциалов. В данном приборе применен селеновый (полупроводниковый) фотоэлемент.

Заключительный элемент схемы – микроамперметр мкА. Его показания пропорциональны интенсивности светового потока, достигшего фотоэлемента.



Рис. 2. Внешний вид фотоэлектроколориметра

Внешний вид фотоэлектроколориметра и его органы управления изображены на рисунке 2:

- 1 – крышка кюветной камеры;
- 2 – рукоятка «Поглотители»;
- 3 – рукоятка «Кюветы»;
- 4 – рукоятка «Установка 100»;
- 5 – рукоятка «Установка 0»;
- 6 – микроамперметр;
- 7 – винт корректора микроамперметра.

Тумблер включения прибора в сеть находится на его задней стенке. Принцип работы прибора заключается в измерении отношения двух световых потоков: прошедшего через растворитель (в нашем случае – воду) и прошедшего через исследуемый раствор. Каждый световой поток создаст в цепи фотоэлемента свой фототок. Отношение этих токов (или числа делений по шкале микроамперметра) будет равно коэффициенту пропускания исследуемого вещества:

$$\tau = \frac{N}{N_0},$$

где N – число делений по шкале микроамперметра при растворителе,

N_0 – число делений по шкале микроамперметра при исследуемом растворе.

С помощью фотометрического клина можно менять величину тока и для удобства отсчета установить $N_0 = 100$. В этом случае коэффициент пропускания исследуемого раствора будет определяться по формуле:

$$\tau = \frac{N}{100}. \quad (1)$$

Порядок выполнения работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов:

Таблица 1

$C, \%$	№	N	τ	D	ΔD
2	1				
	2				
	3				
	среднее				
6	1				
	2				
	3				
	среднее				
8	1				
	2				
	3				
	среднее				
x	1				
	2				
	3				
	среднее				

2. До включения прибора в сеть установите минимальную чувствительность прибора, вращая ручку «Установка 100» против часовой стрелки до упора.

3. Проверьте соответствие нулевого положения стрелки микроамперметра, при необходимости отрегулируйте его винтом 7 корректора (рис. 2).

4. Введите зеленый поглотитель «3» рукояткой «Поглотители».

5. Включить прибор в сеть.

6. Откройте крышку 1 фотоэлектроколориметра и достаньте кюветодержатель.

7. Извлеките кювету «Растворитель», заполните ее на 2/3 объема водой и установите на место. Установите кюветодержатель в фотоколориметр. Крышку кюветной камеры не закрывайте.

8. Рукояткой 3 «Кюветы» расположите кювету с растворителем на пути светового потока.

9. Установите нуль по шкале микроамперметра рукояткой 5 «Установка 0».
10. Закройте крышку 1 кюветного отделения и рукояткой 4 «Установка 100» установите стрелку микроамперметра на сотое деление.
11. Откройте крышку 1 кюветной камеры и достаньте кюветодержатель. Извлеките пустую кювету, заполните ее на 2/3 объема исследуемым раствором наименьшей концентрации и установите на место.
12. Поставьте кюветодержатель в фотоколориметр. Рукояткой 3 «Кюветы» расположите кювету с исследуемым раствором на пути светового потока. Закройте крышку кюветной камеры.
13. Произведите отсчет по шкале микроамперметра 6 и запишите N в таблицу 1.
14. Откройте крышку 1 кюветной камеры и достаньте кюветодержатель. Извлеките кювету с исследуемым раствором и слейте его в баночку с раствором той же концентрации. Протрите кювету, заполните ее на 2/3 объема следующим раствором и установите на место.
15. Поставьте кюветодержатель в фотоколориметр. Рукояткой 3 «Кюветы» расположите кювету с исследуемым раствором на пути светового потока. Закройте крышку кюветной камеры.
16. Произведите отсчет по шкале микроамперметра 6 и запишите N в таблицу 1.
17. Прделайте пункты 14 – 16 с остальными растворами.
18. Проведите еще две серии опытов по пунктам 14 – 16 со всеми растворами, начиная с раствора наименьшей концентрации. Не забудьте слить последний раствор.
19. Выключите прибор из сети.

Обработка результатов измерений

1. По значениям N для всех опытов определите τ , используя формулу (9). Запишите результаты в таблицу 1.
2. По таблице 2 определите D для всех τ (см. прим.) и ее среднее значение, результаты занесите в таблицу 1.

Таблица 2

D	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	1,000	0,977	0,955	0,933	0,913	0,891	0,871	0,851	0,832	0,813
0,1	0,794	0,776	0,759	0,741	0,724	0,708	0,692	0,676	0,661	0,646
0,2	0,631	0,617	0,603	0,589	0,575	0,562	0,549	0,537	0,525	0,513
0,3	0,501	0,490	0,475	0,468	0,457	0,447	0,437	0,427	0,417	0,407
0,4	0,398	0,389	0,380	0,371	0,363	0,355	0,347	0,339	0,331	0,324
0,5	0,316	0,309	0,302	0,295	0,288	0,282	0,275	0,269	0,263	0,257
0,6	0,251	0,245	0,240	0,234	0,229	0,224	0,219	0,214	0,209	0,204
0,7	0,199	0,195	0,191	0,186	0,182	0,178	0,174	0,170	0,166	0,162
0,8	0,158	0,155	0,151	0,148	0,145	0,141	0,138	0,135	0,132	0,120
0,9	0,126	0,123	0,120	0,117	0,115	0,112	0,110	0,107	0,105	0,102
1,0	0,100	0,098	0,095	0,093	0,091	0,089	0,087	0,085	0,083	0,081

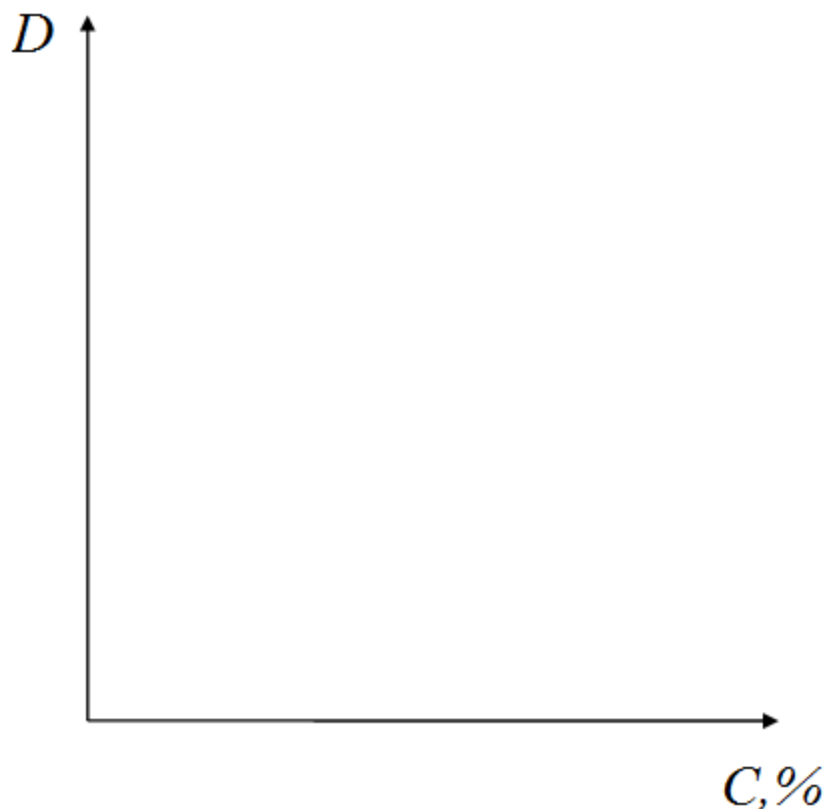
Примечание. В первом столбце таблицы даны значения оптической плотности D через 0,1, а в верхней строке помещены ее сотые доли. На пересечении строки со столбцом приводятся соответствующие значения коэффициента пропускания. При отыскании значений оптической плотности, соответствующих значениям коэффициентов пропускания, меньших 0,081, сначала увеличьте данный коэффициент пропускания в 10 раз, затем найдите значение оптической плотности, соответствующее полученному коэффициенту пропускания, и к этому значению прибавьте единицу.

3. Рассчитайте для всех значений D ее абсолютную погрешность по формуле $\Delta D = |D_{cp} - D_{изм}|$, найдите среднее значение ΔD , результаты занесите в таблицу 1.

Примечание. Если в результате расчета абсолютной погрешности оптической плотности получается нуль, то примите $\Delta D = 0,01$.

(место для расчётов)

4. По средним значениям оптической плотности D_{cp} для всех известных концентраций с учетом абсолютной ее погрешности постройте градуировочный график $D = f(C)$.



5. Отметьте на графике точку, соответствующую среднему значению оптической плотности раствора неизвестной концентрации.

6. Отметьте на графике интервал средней абсолютной погрешности оптической плотности раствора неизвестной концентрации.

7. Определите по графику значение концентрации раствора C_x , опустив перпендикуляр на соответствующую координатную ось.

8. Определите по графику абсолютную погрешность концентрации раствора (см. пример на стр. 15).

9. Определите относительную погрешность определения концентрации неизвестного раствора по формуле:

$$E_{C_x} = \frac{\Delta C_x}{C_x} \cdot 100\% .$$

(место для расчётов)

10. Результат запишите в виде: $C = (C_x \pm \Delta C_x) \%$, $E_{C_x} = \dots\%$.

$C_x =$

11. Сделайте вывод по результатам работы.

ВЫВОД:

Контрольные вопросы

№	Вопрос	Ответ
1.	Что называется явлением поглощения света веществом?	
2.	Что такое интенсивность света? В каких единицах она измеряется?	
3.	Каким законом описывается явление поглощения света веществом? Сформулируйте его и запишите математически.	
4.	В чем заключается физический смысл коэффициента поглощения? В каких единицах он измеряется и как обозначается?	
5.	Что называется коэффициентом пропускания? В каких единицах он измеряется и как обозначается?	
6.	Что такое оптическая плотность? В каких единицах она измеряется и как обозначается?	
7.	Сформулируйте и запишите закон Бера.	
8.	Сформулируйте и запишите закон Бугера-Ламберта.	
9.	Изобразите оптическую схему фотоэлектроколориметра	

10.	В чем заключается метод определения концентрации вещества в растворе фото-электроколориметром.	
-----	--	--

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ САХАРА В РАСТВОРЕ САХАРИМЕТРОМ

Цель работы: изучить общие закономерности поляризации света; ознакомиться с устройством и принципом работы сахариметра; определить концентрацию сахара в растворе и удельную постоянную вращения сахара.

Оборудование: сахариметр, кюветы с растворами сахара.

Описание установки

В работе для определения удельной постоянной вращения сахара и его концентрации в растворе используется сахариметр универсальный СУ-4. Принципиальная схема сахариметра представлена на рисунке 1.

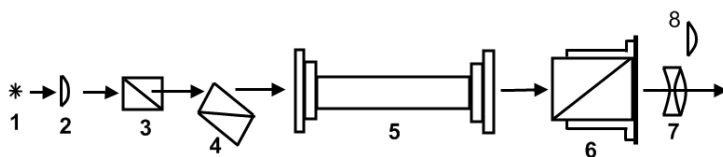


Рис. 1. Принципиальная схема полутеневого сахариметра

Исследуемое вещество 5 помещается между полутеневым поляризатором, состоящим из двух половин 3 и 4, и анализатором 6. Пропускание анализатора меняется в соответствии с законом Малюса при изменении угла между плоскостью поляризации анализатора 6 и плоскостью поляризации падающего на него света.

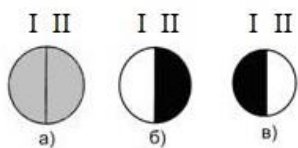


Рис. 2. Вид поля зрения в сахариметре с полутеневым поляризатором

Использование полутеневого поляризатора 3 и 4 обусловлено тем, что установка обычного поляризатора на темноту не может быть осуществлена достаточно точно. В полутеневых поляризаторах производится установка не на темноту, а на равенство освещенностей двух половин полей зрения I и II (рис. 2а). Глаз человека очень чувствителен к нарушениям равенства освещенностей двух соседних полей (рис. 2б, в), поэтому с помощью полутеневого устройства положение плоскости поляризации может быть установлено с гораздо большей точностью, чем путем установки поляризатора на темноту.

Измерение угла вращения сводится к повороту плоскости поляризации анализатора до визуального выравнивания яркостей двух половин поля зрения I и II (рис. 8а), наблюдаемых в зрительную трубу 7 (рис. 1). Измеряемый угол считывается со шкалы отсчётного устройства 8. Конденсор 2 служит для создания параллельного пучка света от источника 1.

Перемещение двух половин поляризатора 3 и 4 (рис.1) друг относительно друга фиксируется по отсчитывающему устройству, проградуированному в единицах Международной сахарной шкалы.

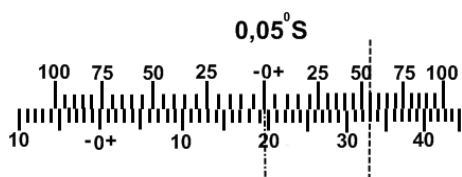
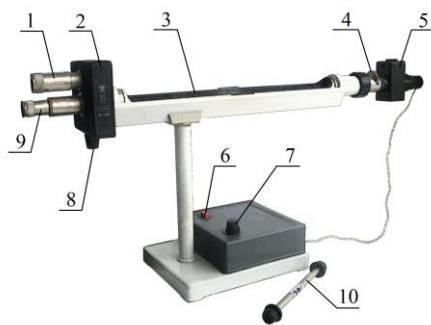


Рис. 3. Снятие показаний с отсчитывающего устройства сахариметра

Снятие показаний по отсчитывающему устройству поясняется на рисунке 3. Градусы отсчитываются по основной нижней шкале (лимбу), десятые и сотые доли – по нониусу, расположенному над основной шкалой. На рисунке 3 показано положение основной шкалы и нониуса, соответствующее отсчету +19,55°S (нуль нониуса расположен правее шкалы на 19 полных делений, и в правой части нониуса с одним из делений шкалы совмещается его одиннадцатое деление. Цена деления нониуса 0,05 °S. На шкале нониуса (верхняя шкала) указаны уже сотые доли градуса.

Внешний вид сахариметра СУ-4 и его органы управления изображены на рисунке 4.



- 1 – окуляр отсчитывающего устройства;
- 2 – измерительная головка;
- 3 – кюветное отделение;
- 4 – поворотная обойма;
- 5 – осветительный узел;
- 6 – кнопка выключателя;
- 7 – ручка резистора;
- 8 – рукоятка клинового компенсатора;
- 9 – зрительная труба;
- 10 – кювета с раствором.

Рис. 4. Устройство сахариметра СУ-4

Порядок выполнения работы

1. Подготовьте таблицу для записи результатов измерений:

№ п/п	$\varphi_{изв},$ °S	$\Delta\varphi_{изв},$ °S	$\varphi_x,$ °S	$\Delta\varphi_x,$ °S	$C_x,$ %	$\Delta C_x,$ %	$E_{C_x},$ %	$\varphi_0,$ °S/м·%	$\Delta\varphi_0,$ °S/м·%	$E\varphi_0,$ %
1										
2										
3										
4										
5										
Ср.										

2. Подготовьте установку к работе:

- а) установите ручку резистора 7 (рис. 4) в крайнее положение вращением против часовой стрелки до упора;
- б) включите шнур электропитания сахариметра в сеть;
- в) включите кнопкой 6 осветитель;
- г) установите обойму 4 в положение «С» (светофильтр);
- д) установите окуляр зрительной трубы 9 на максимальную резкость изображения вертикальной линии раздела полей сравнения;
- е) установите окуляр отсчетного устройства 1 на максимальную резкость изображения штрихов и цифр шкалы и нониуса;
- ж) установите ручкой резистора 7 такую яркость поля зрения, при которой наиболее четко воспринимается разница в яркости полей сравнения, если сместить нониус на одно деление с нулевого положения.

3. Смотря в окуляр отсчитывающего устройства 1 проверьте нулевой отсчет, при необходимости совместите нулевое деление основной шкалы с нулевым делением нониусной шкалы, вращением рукоятки клинового компенсатора 8.

4. Установите кювету с раствором известной концентрации в кюветное отделение 3.
5. Вращением рукоятки клинового компенсатора 8 против часовой стрелки уравнивайте яркость полей сравнения согласно рисунку 8 а.
6. Произведите отсчет показаний по шкале и нониусу согласно рисунку 9.
7. Запишите значение $\varphi_{изв}$ в таблицу.
8. Установите кювету с раствором неизвестной концентрации в кюветное отделение 3.
9. Вращением рукоятки клинового компенсатора 8 против часовой стрелки уравнивайте яркость полей сравнения согласно рисунку 8 а.
10. Произведите отсчет показаний по шкале и нониусу согласно рисунку 9.
11. Запишите значение φ_x в таблицу.
12. Повторите измерения по пунктам 3-11 ещё 4 раза.

Обработка результатов измерений

1. По формуле $C_x = C_{изб} \cdot \frac{\varphi_x}{\varphi_{изб}}$ определите C_x для каждого опыта.
2. Определите среднее значение $\varphi_{изб}$, φ_x , C_x .
3. Определите $\Delta\varphi_{изб}$ и $\Delta\varphi_x$ методом среднего значения.
4. Определите относительную и абсолютную погрешности измерений C_x по формулам:

$$E_{C_x} = \frac{\Delta\varphi_{изб}}{\varphi_{изб}} + \frac{\Delta\varphi_x}{\varphi_x}; \quad \Delta C_x = E_{C_x} \cdot C_x.$$

(место для расчётов)

5. Запишите результаты в таблицу.
6. По формуле $\varphi_o = \frac{\varphi_{изб}}{C_{изб}} \cdot l$ определите φ_o для каждого опыта. При расчетах примите $l=0,189$ м.
7. Определите среднее значение φ_o .
8. Определите относительную и абсолютную погрешности измерений φ_o по формулам:

$$E_{\varphi_o} = \frac{\Delta\varphi_{изб}}{\varphi_{изб}} + \frac{\Delta l}{l}; \quad \Delta\varphi_o = E_{\varphi_o} \cdot \varphi_o.$$

При расчетах примите $\Delta l=0,001$ м.

9. Запишите результаты в таблицу.

(место для расчётов)

10. Конечный результат представьте в виде:

$$C_x = (C_{xcp} \pm \Delta C_{xcp}) \%;$$

$$E_{C_x} = \dots \%$$

$$\varphi_o = (\varphi_{ocp} \pm \Delta\varphi_{ocp}) \text{ } ^\circ\text{S/м}\cdot\%;$$

$$E_{\varphi_o} = \dots \%.$$

11. Сделайте вывод по проделанной работе.

ВЫВОД:

$C_x=$

$\varphi_o=$

Контрольные вопросы

№	Вопрос	Ответ
	Поляризацией света называется...?	
	В чем отличие естественного и поляризованного света?	
	Как отличить естественный свет от поляризованного?	
	Укажите способы получения поляризованного света.	
	Какой угол называется углом Брюстера?	
	Сформулируйте и запишите закон Малюса.	
	Вращением плоскости поляризованного света называется...?	
	От чего зависит угол поворота плоскости поляризации?	
9.	Какие вещества называются оптически активными?	

10.	Какие явления положены в основу поляриметра?	
11.	Расскажите принцип действия поляриметра.	
12.	В чём отличие поляриметра и сахариметра?	
13.	Что называют интенсивностью света, и в каких единицах она измеряется в СИ?	

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАКУУМНОГО ФОТОЭЛЕМЕНТА

Цель работы: ознакомиться с устройством и принципом действия вакуумного фотоэлемента; изучить вольт-амперную и световую характеристики вакуумного фотоэлемента; определить чувствительность фотоэлемента.

Оборудование: лабораторный стенд «Исследование фотоэлемента».

Обоснование метода

Если к фотоэлементу, на фотокатод которого падает световой поток, приложено положительное анодное напряжение, то в цепи появится фототок. Вид зависимости тока от напряжения между анодом и катодом представлен на рисунке 2. Построив вольт-амперную характеристику фотоэлемента можно определить для него напряжение и ток насыщения. Если построить вольт-амперные характеристики для разных световых потоков, то по полученным значениям токов насыщения возможно построить *световую характеристику фотоэлемента* (зависимость токов насыщения от светового потока: $I_H = f(\Phi)$) и тем самым проверить первый закон Столетова. Если первый закон Столетова выполняется, то световая характеристика имеет вид восходящей прямой. Технически световой поток можно изменять несколькими способами. Самый простой способ изменения светового потока – планомерное перемещение фотоэлемента на различное расстояние от источника света.

Зная численные значения токов насыщения при различных известных значениях светового потока можно, используя выражение (8) определить чувствительность фотоэлемента.

Описание установки

В данной работе для исследования фотоэлемента в виде стенда собрана специальная установка, электрическая схема которой приведена на рисунке 1. В установку входят: блок питания 1, потенциометр 2, фотоэлемент 3, источник света 4 с отдельным блоком питания 5. Для контроля напряжения используется вольтметр 6. Сила фототока регистрируется в цепи микроамперметром 7. Конструкция установки выполнена следующим образом. С одной стороны (рис. 2) специальной светонепроницаемой трубы 1 закреплена коробка 2 с размещённым в ней фотоэлементом СЦВ-3 (сурьмяно-цезивый вакуумный). С другой стороны трубы на подвижной трубке с линейкой 3, закреплена лампа (на рисунке не показана).

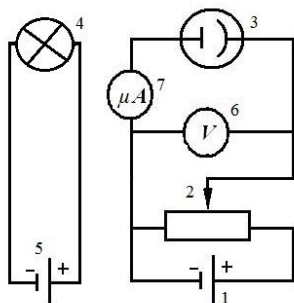


Рис. 1. Электрическая схема лабораторной установки

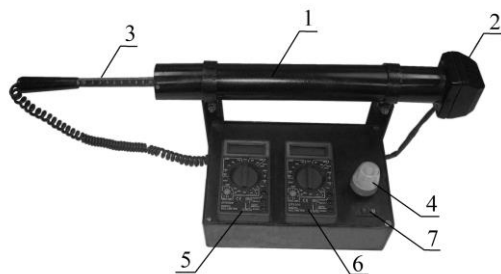


Рис. 2. Внешний вид лабораторной установки

Расстояние от лампы до фотоэлемента можно изменять, вдвигая или выдвигая подвижную трубку с линейкой 3. При помощи потенциометра, ручка 4 которого находится на лицевой панели установки, можно изменять напряжение между электродами фотоэлемента. Напряжение на фотоэлементе и сила фототока фиксируются цифровыми вольтметром 5 и микроамперметром 6.

Порядок выполнения работы

1. Подготовьте таблицы для записи результатов измерений:

Таблица 1

№ п/п	$U, \text{В}$	$I, \text{мкА}$		
		$r_1 = \text{м}$	$r_2 = \text{м}$	$r_3 = \text{м}$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

Таблица 2

$r, \text{м}$	$I_H, \text{мкА}$	$\Phi, \text{лм}$	$k, \text{мкА/лм}$	$\Delta k, \text{мкА/лм}$	$E_k, \%$
		среднее			

2. Убедитесь, что ручка потенциометра 4 (рис. 2) находится в крайнем левом положении, а выключатель питания 7 установки находится в положении 0 (выключено).
3. Установите источник света на расстояние 0,10 м от фотоэлемента по линейке 3 стенда.
4. Подключите стенд лабораторной установки к сети 220 В.
5. Установите переключатель пределов вольтметра 5 в положение «200» (DCV) (измерение напряжения в цепи постоянного тока до 200 вольт).
6. Установите переключатель пределов микроамперметра 6 в положение «200 μ » (DCA) (измерение силы тока в цепи постоянного тока до 200 микроампер).
7. Переключите выключатель питания 7 установки в положение I (включено).
8. Произведите измерение силы фототока в цепи соответствующей напряжению 0 вольт. Занесите результат измерения в таблицу 1.

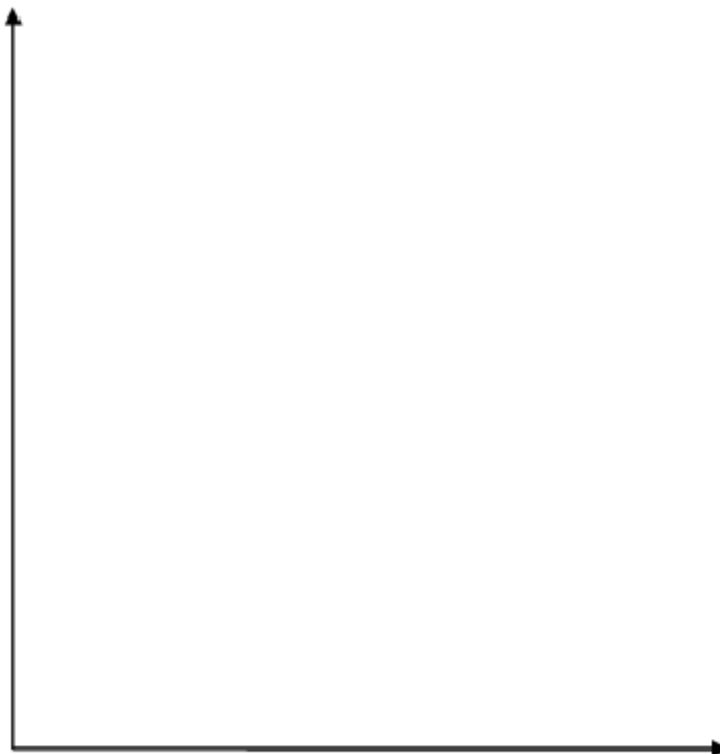
9. Вращая ручку потенциометра 4 по часовой стрелке и устанавливая необходимые значения напряжения, произведите измерения величины фототока для всех значений напряжения указанных в таблице 1. Запишите результаты измерений в таблицу 1.

Внимание! При снятии показаний с цифровых приборов значения колеблются на уровне десятых долей, ввиду высокой чувствительности приборов. Поэтому при снятии показаний следует записывать средние значения напряжения и фототока.

10. Повторите измерения по пунктам 8-9 для расстояний 0,15 м и 0,20 м. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

Обработка результатов измерений

1. По данным таблицы 1 постройте вольт-амперные характеристики фотоэлемента в одной системе координат $I = f(U)$ для расстояний $r = 0,10; 0,15; 0,20$ м.



2. Рассчитайте значения светового потока Φ для расстояний $r = 0,10; 0,15; 0,20$ м по формуле:

$$\Phi = \frac{i \cdot S}{r^2} \quad (\text{лм}) \text{ (люмен)},$$

где i – сила света источника;

S - площадь катода.

При расчётах примите $i = 0,9$ кд (кандел) и $S = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. Запишите результаты вычислений в таблицу 2.

3. По построенным графикам определите величины токов насыщения I_n при различных расстояниях, соответствующих различным значениям световых потоков. Запишите результаты в таблицу 2.

4. По формуле (8) определите чувствительность фотоэлемента для световых потоков, соответствующих расстояниям 0,10; 0,15; 0,20 м. Запишите результаты в таблицу 2.

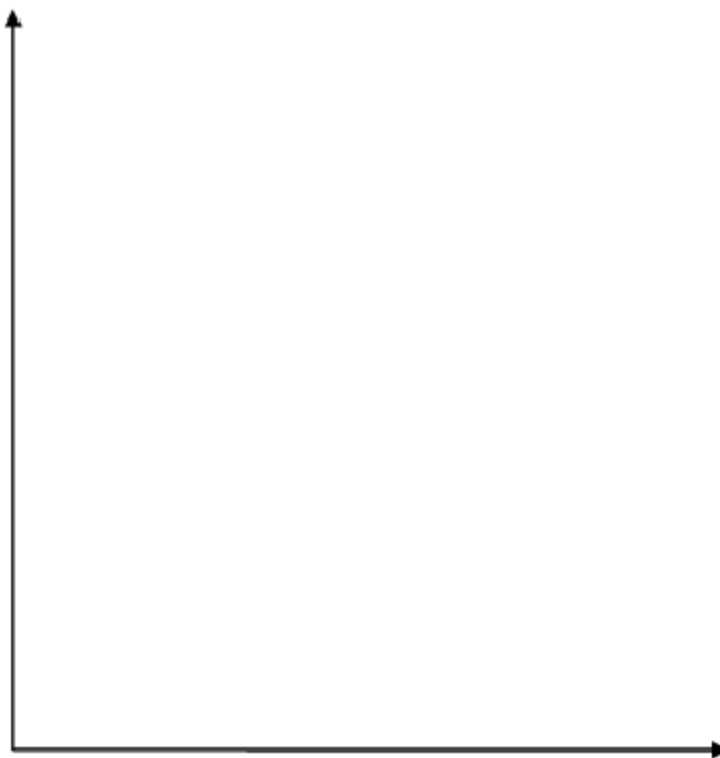
5. Определите среднее значение чувствительности фотоэлемента. Запишите результат в таблицу 2.

6. Определите методом среднего значения абсолютную и относительную погрешности измерения чувствительности. Запишите результаты в таблицу 2.

7. Конечный результат представьте в виде:

$$k = (k_{cp} \pm \Delta k_{cp}) \text{ мкА/лм}; E_k = \dots \% .$$

8. По совокупности значений световых потоков и соответствующих им токов насыщения I_n (таблица 2) постройте график зависимости $I_n = f(\Phi)$ и проверьте справедливость первого закона Столетова.



9. Сделайте вывод, в котором отразите какими причинами могут быть вызваны отличия полученных значений интегральной чувствительности фотоэлемента от табличных (см. прил. 7), как полученный график световой характеристики соответствует первому закону Столетова и чем могут быть вызваны отклонения от него.

ВЫВОД:

Контрольные вопросы

№	Вопрос	Ответ
1.	В чем заключается явление внешнего фотоэффекта?	
2.	Объясните, используя уравнение Эйнштейна, второй и третий законы фотоэффекта.	
3.	Опишите устройство вакуумного фотоэлемента, принцип его действия и область применения.	

4.	Почему фотокатоды, облучаемые видимым светом, не могут быть изготовлены из таких металлов как вольфрам, никель?	
5.	Что называется красной границей фотоэффекта и от чего зависит её значение?	
6.	В чем причина «старения» фотоэлементов?	
7.	Каковы характерные особенности вольт-амперной характеристики вакуумного фотоэлемента?	
8.	Каковы причины возникновения тока насыщения?	
9.	Как зависит сила тока насыщения от величины падающего на фотоэлемент светового потока?	

Лабораторная работа № 8

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШИРИНЫ УЗКОЙ ЩЕЛИ

Цель работы: ознакомиться с принципом действия твердотельного и газового лазеров, определить ширину щели при помощи луча лазера дифракционным методом.

Оборудование: гелий-неоновый лазер, раздвижная щель, линейка, экран.

Описание установки

В данной работе ОКГ используется в качестве источника света для получения дифракционной картины от узкой щели (суть явления дифракции описана в лабораторной работе № 1). Схема установки приведена на рисунке 1. Свет от лазера 1 падает на щель 2. При этом на экране 3 с миллиметровой сеткой наблюдается дифракционная картина в виде чередующихся минимумов и максимумов интенсивности света.

В центре экрана наблюдается самый яркий центральный максимум. Темные участки, прилегающие к нему, называются минимумами 1-го порядка, затем идут максимумы 1-го порядка и т.д.

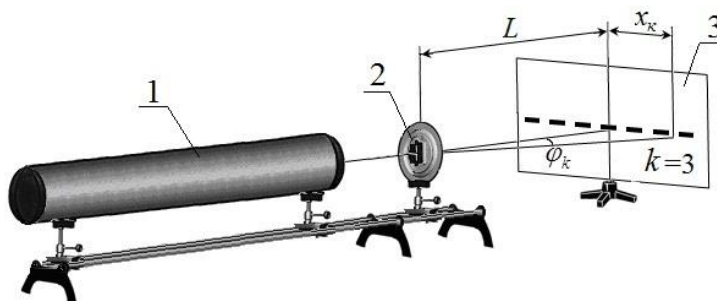


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Порядок выполнения работы

Внимание! При работе с лазером необходимо помнить, что попадание лазерного луча в глаз опасно для зрения!

1. Подготовьте таблицу для записи результатов:

Таблица

№	$L, \text{м}$	$\Delta L, \text{м}$	k	$x_k, \text{м}$	$\Delta x_k, \text{м}$	$b, \text{м}$	$\Delta b, \text{м}$	$E_b, \%$
1	0,9		3					
2			5					
3			7					
4	0,6		3					
5			5					
6			7					
7	0,3		3					
8			5					
9			7					

2. С помощью лаборанта или преподавателя включите ОКГ. Для этого включите в сеть 220 В сетевой шнур источника питания. Ручку переключателя «ток лазера» переведите в положение IV. Включите переключатель «сеть» и «накал» на источнике питания, при этом должны загореться лампочка «сеть» и появиться генерация.

3. Получите четкую дифракционную картину на экране, установив расстояние между щелью и экраном 0,9 м, при этом плоскость щели должна располагаться перпендикулярно лучу лазера.

4. По миллиметровой сетке измерьте расстояние x_k (рис. 1) для 3, 5 и 7 минимумов ($k=3, 5, 7$) и занесите результаты в таблицу.

5. Повторите пункт 4, не меняя ширины щели, еще два раза для расстояний, указанных в таблице.

6. Занесите значения Δx_k и ΔL в таблицу.

7. Выключите лазер.

Обработка результатов измерений

1. Для всех опытов по формуле $b = \frac{k\lambda L}{x_k}$ определите ширину щели b , приняв $\lambda = 632,8 \cdot 10^{-9} \text{ м}$.

2. По формуле $E_b = \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta x_k}{x_k} \right) \cdot 100\%$ определите относительную погрешность для всех измерений. $\Delta\lambda = 0,1 \cdot 10^{-9}$ м

3. По формуле $\Delta b = \frac{E_b}{100\%} \cdot b$ рассчитайте значения абсолютной погрешности для всех измерений.

4. Занесите результаты всех вычислений в таблицу.
 5. Запишите лучший результат в виде $b = (b \pm \Delta b)$ м, $E_b = \dots\%$. Сделайте вывод по результатам работы.

ВЫВОД:

Контрольные вопросы

№	Вопрос	Ответ
1.	Опишите механизм возникновения спонтанного и вынужденного излучения атомов. Укажите основные свойства вынужденного излучения.	
2.	Какое состояние называется состоянием с инверсной населенностью?	
3.	Дайте определение понятия метастабильный уровень энергии атома.	

4.	Опишите устройство и принцип действия He-Ne - лазера.	
5.	Опишите устройство и принцип действия рубинового лазера.	
6.	Каково назначение резонатора в газовом лазере?	

1. Основные физические постоянные (значения округленные)

Физическая величина	Обозначение	Числовые значения
Ускорение свободного падения	g	9,81 м/с ²
Гравитационная постоянная	G	$6,67 \cdot 10^{-11}$ м ³ /(кг·с ²)
Постоянная Ридберга	R _λ	$1,097 \cdot 10^7$ м ⁻¹
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Заряд электрона, протона	e	$1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса электрона	m _e	$9,11 \cdot 10^{-31}$ кг
Масса протона	m _p	$1,67 \cdot 10^{-27}$ кг
Скорость света в вакууме	c	$3 \cdot 10^8$ м/с
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м ² · К ⁴)
Постоянная Вина	b	$2,9 \cdot 10^{-3}$ м · К
Постоянная Планка	h	$6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Электрическая постоянная	ε ₀	$8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	μ ₀	$12,56 \cdot 10^{-7}$ Гн/м

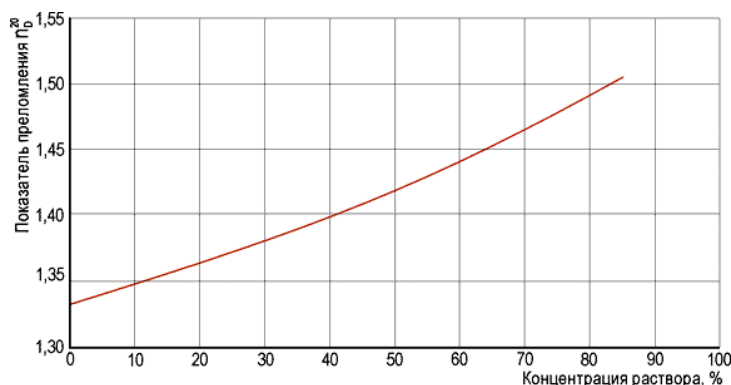
2. Приставки для образования кратных и дольных единиц

Приставки кратных единиц	Отношение к основной единице	Обозначение русское	Приставки дольных единиц	Отношение к основной единице	Обозначение русское
экса	10 ¹⁸	Э	деци	10 ⁻¹	д
пэта	10 ¹⁵	П	санتي	10 ⁻²	с
тера	10 ¹²	Т	милли	10 ⁻³	м
гига	10 ⁹	Г	микро	10 ⁻⁶	мк
мега	10 ⁶	М	нано	10 ⁻⁹	н
кило	10 ³	к	пико	10 ⁻¹²	п
гекто	10 ²	г	фемто	10 ⁻¹⁵	ф
дека	10 ¹	да	атто	10 ⁻¹⁸	а

3. Показатели преломления (n) водных растворов сахарозы различной концентрации (C,%) при 20°C

C, %	n	C, %	n	C, %	n	C, %	n
0	1,33299	4	1,33879	8	1,34476	12	1,35093
1	1,33442	5	1,34026	9	1,34629	13	1,35250
2	1,33586	6	1,34175	10	1,34782	14	1,35408
3	1,33732	7	1,34325	11	1,34937	15	1,35568

4. График зависимости показателя преломления водных растворов сахарозы от концентрации при 20°C



5. Таблица синусов

	Синусы							Поправки								
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'
0	0,0000	0,0029	0,0058	0,0087	0,0116	0,0145	0,0175	3	6	9	12	15	17	20	23	26
1	0,0175	0,0204	0,0233	0,0262	0,0291	0,0320	0,0349	3	6	9	12	15	17	20	23	26
2	0,0349	0,0378	0,0407	0,0436	0,0465	0,0494	0,0523	3	6	9	12	15	17	20	23	26
3	0,0523	0,0552	0,0581	0,0610	0,0640	0,0669	0,0698	3	6	9	12	15	17	20	23	26
4	0,0698	0,0727	0,0756	0,0785	0,0814	0,0843	0,0872	3	6	9	12	15	17	20	23	26
5	0,0872	0,0901	0,0929	0,0958	0,0987	0,1016	0,1045	3	6	9	12	14	17	20	23	26
6	0,1045	0,1074	0,1103	0,1132	0,1161	0,1190	0,1219	3	6	9	12	14	17	20	23	26
7	0,1219	0,1248	0,1276	0,1305	0,1334	0,1363	0,1392	3	6	9	12	14	17	20	23	26
8	0,1392	0,1421	0,1449	0,1478	0,1507	0,1536	0,1564	3	6	9	12	14	17	20	23	26
9	0,1564	0,1593	0,1622	0,1650	0,1679	0,1708	0,1736	3	6	9	12	14	17	20	23	26
10	0,1736	0,1765	0,1794	0,1822	0,1851	0,1880	0,1908	3	6	9	11	14	17	20	23	26

Примечание.

Чтобы отыскать синус некоторого угла, в первом столбце выбирается число в градусах, а в части таблицы расположенной сверху числовое значение в десятках минут. На пересечении строки и столбца находится результат. Для нахождения значений синусов единиц минут к двум последним цифрам результата необходимо прибавить значение соответствующей поправки.

6. Соответствие цветов длинам волн и частотам в видимом диапазоне оптического спектра

Цвет	Длина волны, 10^{-9} м	Частота, 10^{12} ·Гц
Красный	760-620	395-484
Оранжевый	620-585	484-513
Желтый	585-575	513-522
Желто-Зеленый	575-550	522-545
Зеленый	550-510	545-588
Голубой (Сине-Зеленый)	510-480	588-625
Синий	480-450	625-667
Фиолетовый	450-380	667-789

7. Интегральная чувствительность некоторых вакуумных и газонаполненных фотоэлементов

Марка фотоэлемента	Интегральная чувствительность, мкА/лм
СЦВ-3	80
СЦВ-4	80
Ф-15	145
Ф-16	100