	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет»	Приложение к ОПОП ВО
		МУ к ЛР дисциплины

Кафедра Теплоэнергетики и физики

Б1.0.13 ФИЗИКА

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ Часть 2

Направление подготовки
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профили подготовки:
Энергообеспечение предприятий

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Уфа 2024

Рассмотрена и одобрена на заседании методической комиссии Энергетического факультета «21» марта 2024 г. (протокол №7)

Составитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Гайсина Г.А.

Рецензент: доктор техн. наук, профессор Аипов Р.С.

Ответственный за выпуск: зав кафедрой Теплоэнергетики и физики, канд. техн. наук, доцент Харисов Д.Д.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Лабораторная работа №13 Изучение явления дифракции света на дифракционной решетке	4
Лабораторная работа №14 Определение увеличения микроскопа и показателя преломления стекла	10
Лабораторная работа №15 Изучение внутренних напряжений в телах с помощью поляризованного света	16
Лабораторная работа № 16 Определение показателя преломления жидкостей рефрактометром	19
Лабораторная работа № 17 Изучение фотоэффекта и определение характеристик вакуумного фотоэлемента	23
Лабораторная работа №18 Изучение законов теплового излучения	27
Лабораторная работа № 19 Определение активности радиоактивного вещества	32
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	38
Приложение	38

ВВЕДЕНИЕ

В лабораторном практикуме приведены методические указания к лабораторным работам. При подготовке к занятию студент обязан изучить соответствующие темы учебников из библиографического списка и составить конспект методического указания к лабораторной работе.

Студент приступает к выполнению лабораторной работы только после получения допуска у преподавателя. После выполнения экспериментальной части необходимо подготовить отчет по методическим указаниям и представить преподавателю для проверки до окончания занятия.

Лабораторная работа №13 Изучение явления дифракции света на дифракционной решетке

Цель и задача работы: Изучение дифракции световых волн на одной щели и многих щелях (дифракционной решетке), определение длины световых волн видимого спектра с помощью дифракционной решетки.

Оборудование: защитный кожух, осветительная лампа, коллиматорная линза, раздвижная щель, объектив, дифракционная решетка, измерительная линейка, экран.

1 Общие сведения

Световые волны могут огибать препятствия и проникать в область геометрической тени. Это явление называется дифракцией света. Явление дифракции наблюдается также и среди волн другой природы – механических, звуковых и др., при условии, если размеры препятствий (отверстие, щель, прозрачный экран) соизмеримы с длиной волны.

Дифракционные картины нередко возникают в естественных условиях. Так, например, цветные кольца, окружающие источник света, наблюдаемый сквозь туман или через запотевшее оконное стекло, обусловлены дифракцией света на мельчайших водяных каплях. Дифракцией света ограничена разрешающая способность оптических приборов, т.е. способность этих приборов давать четкие, отдельные изображения мелких деталей предмета.

Дифракция используется в научно-исследовательских целях для изучения кристаллической структуры вещества при прохождении через вещество рентгеновских лучей (рентгенография), электронов (электронография), нейтронов (нейтронография). Восстановление голографического изображения объясняется также дифракцией лазерного луча на фотопластинке, на которой зарегистрирована голограмма. Гюйгенсом и Френелем был сформулирован принцип, объясняющий явление дифракции света, согласно которому каждая точка волнового фронта является источником вторичных когерентных волн, а испускаемые этими источниками волны впоследствии интерферируют между собой.

Широкое распространение в научном эксперименте и технике получили дифракционные решетки, предназначенные для разложения света в спектр и измерения длин волн. Дифракционная решетка представляет собой стеклянную пластинку, на которой остро отточенным алмазным острием нанесен ряд параллельных штрихов. Число их доходит до 2000 на 1 мм. Через промежутки между штрихами свет проходит, сами же штрихи, т.е. места, где стекло повреждено, являются непрозрачными для световых лучей. Ширину щели обозначим через a , ширину непрозрачной части экрана между двумя соседними щелями – через b . Величина $d=a+b$ называется постоянной дифракционной решетки. За решеткой осуществляется многолучевая интерференция когерентных пучков света, исходящих от щелей решетки при ее освещении. Пусть на решетку перпендикулярно ее поверхности падает плоская монохроматическая волна. Разность хода Δ между вторичными волнами, исходящими от соседних щелей решетки, будет $d \sin \varphi = \Delta$, а разность фаз

$$\delta\alpha = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \varphi,$$

где φ - угол дифракции.

Интерференционная картина, наблюдаемая на экране Э (рисунок 1) представлена набором светлых полос различной интенсивности, разделенных темными промежутками.

Для получения на экране светлой полосы требуется, чтобы разность хода лучей равнялась $\Delta = 2\frac{\lambda}{2}, 4\frac{\lambda}{2}, 6\frac{\lambda}{2} \dots, 2k\frac{\lambda}{2}$, т.е. четному числу полуволн или целому числу длин волн:

$$d \sin \varphi = k\lambda, \quad (1)$$

где k – целое число ($k=0, \pm 1, \pm 2 \dots$), оно соответствует номеру светлой полосы, отсчитываемой от центра картины. Величина k называется также порядком спектра.

Светлые полосы на экране называются главными максимумами. Для всех остальных точек экрана, для которых не соблюдается равенство (1), получатся темные полосы.

На рисунке 1 показан общий характер распределения интенсивности на четырех щелях ($N=4$) дифракционной решетки.

Если щель будет одна, то распределение интенсивности будет иметь характер, показанный пунктирной линией. Минимумы, образованные одной щелью присутствуют и в картине от дифракционной решетки – это главные минимумы.

Рассмотренная выше картина относилась к дифракции монохроматического света на решетке. В белом свете каждая из волн различной длины дает свою дифракционную картину. Из условия максимума $d \sin \varphi = k\lambda$ следует, что угол φ для фиксированного номера порядка k возрастает с увеличением λ .

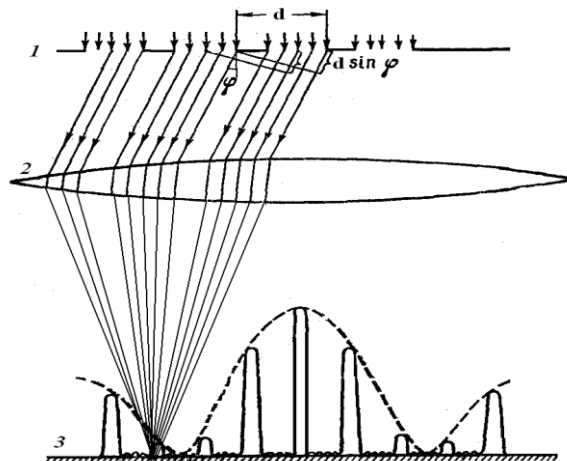


Рисунок 1 Ход лучей через дифракционную решетку и образование дифракционной картины: 1 – дифракционная решетка; 2 – линза; 3 – экран

В нулевом порядке центральный максимум ($\varphi=0$) совпадает для всех волн. Поэтому в центре образуется белая полоса. Затем идет первый порядок, представленный всеми длинами волн видимого спектра – от фиолетового до красного, далее во втором и третьем порядках этот спектр повторяется, все более расширяясь и перекрывая друг друга. Наиболее четкое распределение спектральных полос можно увидеть при использовании источника, имеющего линейчатый спектр, например, свет ртутной или водородной ламп.

2 Описание лабораторной установки и вывод расчетной формулы

Установка по изучению дифракции света состоит из набора приборов (рисунок 2), размещенных на оптической скамье.

Осветительная лампа 2 размещена в фокусе линзы 3. Параллельный пучок лучей проходит через узкую щель с раздвижными краями 4, затем объектив 5 и дифракционную решетку 6. Расстояние между дифракционной решеткой и экраном можно изменять и измерять его величину линейкой 7. Отклоненные дифракционной решеткой лучи попадают на экран 8. Ход лучей за дифракционной решеткой показан на рисунке 3. Из прямоугольных треугольников SOA можно получить соотношение

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{2\ell}, \quad (2)$$

где $\ell = SO$ – расстояние от дифракционной решетки до экрана, $x = OA$ – расстояние от центра экрана до заданной полосы.

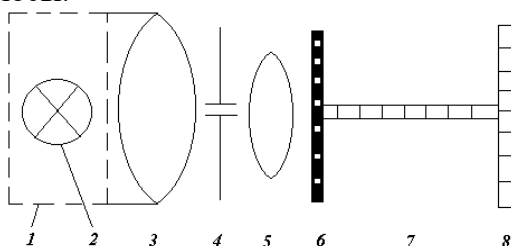


Рисунок 2 Установка для изучения дифракции света:

- 1 – защитный кожух; 2 – осветительная лампа;
- 3 – коллиматорная линза; 4 – раздвижная щель;
- 5 – объектив; 6 – дифракционная решетка;
- 7 – измерительная линейка; 8 – экран

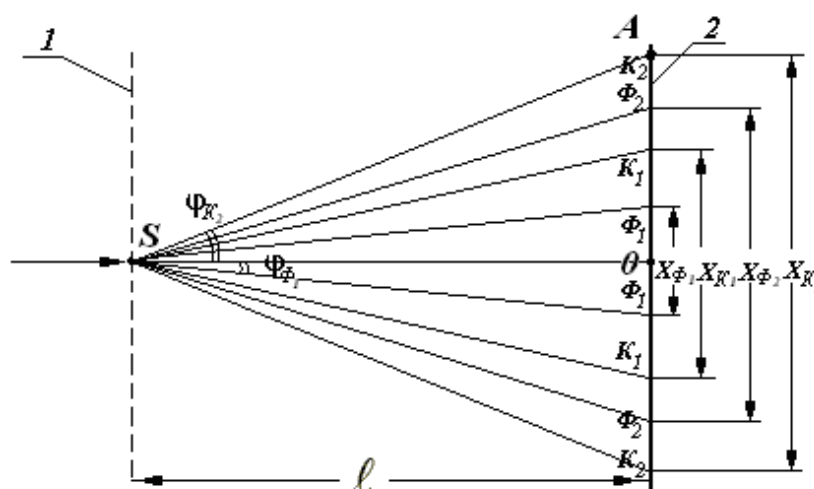


Рисунок 3 Ход лучей в установке:

- 1 – дифракционная решетка, 2 – экран

При $\ell \gg x$ угол φ мал, поэтому в первом приближении можно принять, что $\operatorname{tg} \varphi \approx \sin \varphi$. Подставив выражение (2) в условие максимума дифракционной решетки (1), получим формулу для определения длины световой волны:

$$\lambda = \frac{x \cdot d}{2k \cdot \ell}, \quad (3)$$

где x – расстояние между красными или между фиолетовыми полосами в спектре одного порядка (соответственно x_k или x_ϕ), m ; k – порядок спектра, отсчитываемый от центральной белой полосы; d – постоянная дифракционной решетки, $d=0,01 \text{ мм}=10^{-5} \text{ м}$ (на 1 мм длины нанесено 100 штрихов); ℓ – расстояние от дифракционной решетки до экрана, м.

3 Порядок выполнения работы

3.1 При подготовке к лабораторной работе необходимо изучить и составить конспект по теме «Дифракция света» по одному из учебников, указанных в библиографическом списке.

3.2 Включить осветительную лампу.

3.3 С помощью регулировочного рычага (или винта) установить ширину щели около 5 мм.

3.4 Расстояние от щели до дифракционной решетки должно быть не более 10 см.

3.5 Поместить подвижный экран 8 на расстояние 25...30 см от дифракционной решетки.

3.6 Добиться наиболее яркого спектра на экране 8.

3.7 Измерить расстояние между фиолетовыми полосами x_ϕ и между красными полосами x_k в спектрах первого порядка ($k=1$) (рисунок 3). Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.

3.8 Измерить x_ϕ и x_k в спектрах второго порядка ($k=2$).

3.9 Переместить подвижный экран 8 на расстояние 40...50 см от дифракционной решетки и измерить x_ϕ и x_k в первом и во втором порядках спектра.

3.10 По формуле (3) рассчитать длину волны λ_ϕ и λ_k в четырех опытах, затем найти средние $\bar{\lambda}_\phi$ и $\bar{\lambda}_k$.

3.11 Найти абсолютные погрешности $\Delta \lambda_i$ для каждого измерения $\Delta \lambda_i = |\bar{\lambda} - \lambda_i|$, затем вычислить средние арифметические погрешности $\Delta \bar{\lambda}_k$ и $\Delta \bar{\lambda}_\phi$. Измеренные и вычисленные значения внести в таблицу 1.

Таблица 1 Результаты измерений расстояний и определения длин световых волн

Обозначения физических величин									
№ опыта	d , м	k	ℓ , м	x_ϕ , м	x_k , м	λ_ϕ нм	$\Delta \lambda_\phi$ нм	λ_k , нм	$\Delta \lambda_k$
1									
2									
3									
4									
среднее									

3.12 Рассчитать экспериментальные погрешности по правилам математической статистики. Среднюю квадратическую погрешность найти как произведение

$$S_{\lambda} = 1,25 \cdot \Delta \bar{\lambda}_k .$$

Затем по таблице Стьюдента (Приложение А) для $N=4$ и доверительной вероятности $P = 0,997$ (или $P = 0,95$) найти коэффициент t_{pN} .

Границы доверительного интервала для средней длины волны $\bar{\lambda}_k$ найти как произведение

$$\Delta(\bar{\lambda}) = S_{\lambda} \cdot t_{p,N} . \quad (4)$$

3.13 Для сравнения точности эксперимента (4) и точности инструментов провести расчет инструментальной погрешности $\Delta \lambda$. Максимальные погрешности определения x и ℓ по миллиметровой линейке $\Delta x = \Delta \ell = 1 \text{ мм}$ (им соответствует доверительная вероятность 0,997). Для косвенных измерений длин волн расчет погрешности провести по формуле:

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{\Delta \lambda_k}{\lambda_k} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \ell}{\ell}\right)^2} ,$$

затем найти абсолютную инструментальную погрешность:

$$\Delta \lambda_k = \varepsilon_{\lambda} \cdot \lambda_k . \quad (5)$$

Сравнить эту инструментальную погрешность (5) с экспериментальной (4). Из них взять ту, которая больше, и записать окончательный результат.

3.14 Окончательный результат выразить в нанометрах ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$) и представить числовой результат в виде:

$$\begin{aligned} \lambda_{\phi} &= (\bar{\lambda}_{\phi} \pm \Delta \lambda_{\phi})_{\text{нм}} , \\ \lambda_k &= (\bar{\lambda}_k \pm \Delta \lambda_k)_{\text{нм}} . \end{aligned}$$

3.15 Сделать вывод. Сравнить найденные длины волн λ_{ϕ} и λ_k с видимым диапазоном шкалы электромагнитных волн.

4 Контрольные вопросы

- 5.1 Какие волны называются когерентными?
- 5.2 Сформулировать принцип Гюйгенса-Френеля.
- 5.3 Что такое зона Френеля и как объяснить дифракцию на одной щели с помощью зон Френеля?
- 5.4 Как происходит дифракция на двух и более щелях?
- 5.5 В чем суть графического метода сложения амплитуд?
- 5.6 От чего зависит разрешающая способность дифракционной решетки и как ее определить в данной лабораторной работе?
- 5.7 Чем отличается дифракционный спектр, полученный от решетки, от спектра, полученного с помощью призмы?
- 5.8 Почему центральная полоса в дифракционной картине получается белой, в то время как полосы первого и второго порядков – радужные?
- 5.9 Для чего применяются дифракционные решетки?
- 5.10 Почему нельзя построить микроскоп на линзах для наблюдения атомов и молекул?

Лабораторная работа №14

Определение увеличения микроскопа и показателя преломления стекла

Цель и задачи работы: Изучение основных понятий геометрической оптики, знакомство с устройством и принципом действия микроскопа; определение коэффициента увеличения микроскопа и показателя преломления стеклянной пластинки.

1 Общие сведения

Микроскопом называется оптический прибор, позволяющий получать значительное увеличение изображения малых объектов. Оптическая система состоит из двух линз – короткофокусной собирающей линзы 1 (объектива) и длиннофокусной собирающей линзы 2 (окуляра) (рисунок 1).

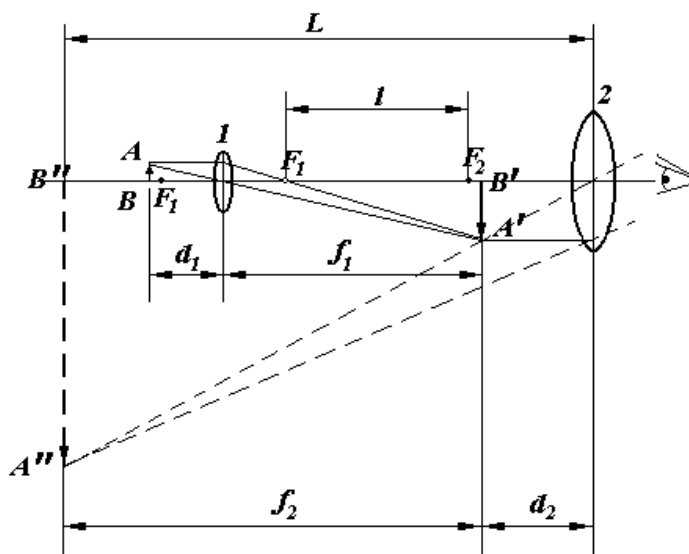


Рисунок 1 Оптическая схема микроскопа

Предмет AB помещается вблизи фокуса F_1 объектива, расстояние от предмета до объектива $d_1 \approx F_1$. Действительное перевернутое увеличенное изображение $A'B'$ оказывается за фокусом F_2 линзы окуляра на расстоянии $f_1 \approx l + F_1$. На основании рисунка 1 из подобия треугольников получим увеличение объектива K_1 :

$$K_1 = \frac{A'B'}{AB} = \frac{f_1}{d_1} = \frac{l + F_1}{F_1} \approx \frac{l}{F_1}, \quad (l \gg F_1).$$

Человек смотрит через окуляр, как через лупу, и видит мнимое увеличенное изображение $A''B''$. Оно находится от окуляра на расстоянии $L \approx 25$ см (расстояние ясного зрения).

Увеличение окуляра K_2 при $d_2 \approx F_2$, и $f_2 \approx L$ равно:

$$K_2 = \frac{A''B''}{A'B'} = \frac{f_2}{d_2} \approx \frac{L}{F_2}.$$

Общее увеличение микроскопа K равно произведению:

$$K = K_1 \cdot K_2 = \frac{l \cdot L}{F_1 F_2}. \quad (1)$$

Оптические микроскопы не могут давать увеличение больше, чем в 2500...3000 раз. Это ограничение связано с дифракцией света на входном отверстии объектива.

Вследствие дифракции на краях диафрагмы, ограничивающей объектив, изображение отдельных точек наблюдаемого предмета получается в виде светлых дисков, окаймленных concentрическими темными и светлыми кольцами. Две близкие точки A и B различимы в поле зрения (разрешимы) при условии, если их изображения перекрываются не более, чем на величину радиуса диска (рисунок 2).

Для микроскопа разрешаемое расстояние U равно приблизительно половине длины волны, т.е. при $\lambda \approx 0,55 \text{ мкм}$, $U \approx 0,3 \text{ мкм}$. Еще меньшие по размеру объекты и расстояния неразличимы. Чтобы увеличить разрешающую способность оптических приборов нужно либо увеличить диаметр объектива, либо уменьшить длину световой волны.

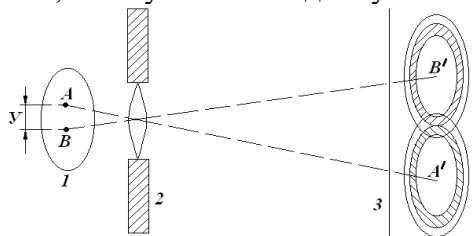


Рисунок 2 Изображение в оптической системе двух близко расположенных точек A и B : 1 – предмет, 2 – оптическая система, 3 – наблюдаемое изображение

Наивысшая разрешающая способность (от 0,01 до 0,0001 мкм) достигается у электронных микроскопов, изображение в которых получается за счет отражения от поверхности пучка электронов, имеющих волновые свойства. С помощью электронных микроскопов можно добиться значительно больших увеличений (до 10^6 раз), что позволяет наблюдать детали структур размерами до 0,1 нм .

2 Описание лабораторной установки и вывод расчетной формулы

Лабораторная установка включает в себя приборы: микроскоп, рисовальный аппарат, микрометр и вспомогательное оборудование: объект-микрометр, стеклянную пластинку и настольную лампу.

2.1 Микроскоп

Оптический микроскоп состоит из оптической и механической частей. Механическая часть состоит из штатива 1 (рисунок 3), коробки с микромеханизмом 2, макро- и микрометрического винтов 3 и 3', тубуса 4, револьверной системы смены объективов 5, предметного столика 6, конденсора с диафрагмой 7, зеркала 8.

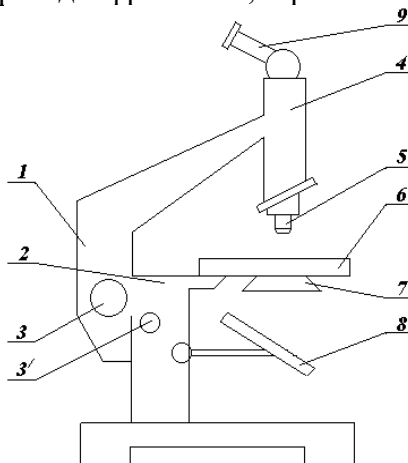


Рисунок 3 Устройство микроскопа

Макро- и микровинты 3 и 3' обеспечивают плавное перемещение тубуса в пределах 50 мм. Предметный столик предназначен для размещения и закрепления исследуемого образца.

Зеркало микроскопа 8 направляет свет на препарат, а конденсор 7 фокусирует лучи света на нем. Диафрагма регулирует светосилу конденсора.

2.2 Объект-микрометр и рисовальный аппарат

Объект-микрометр (рисунок 4а) представляет собой металлическую пластинку, в середину которой вставлена прозрачная стеклянная пластинка, на поверхности которой нанесены деления. Эти деления невооруженным глазом не видны, т.к. цена одного деления равна 0,01 мм. Для совмещения изображения объект-микрометра, расположенного на предметном столике и линейки, расположенной на столе, применяют насадку на микроскоп, называемую рисовальным аппаратом (рисунок 4 б).

Оптическая часть рисовального аппарата (рисунок 4 в) состоит из зеркала 1 и поворотной призмы 2. В глаз наблюдателя одновременно попадают лучи из окуляра от объект-микрометра 3 и от линейки 4.

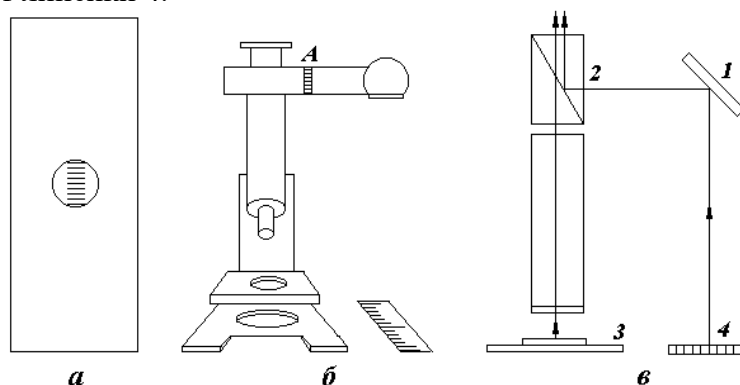


Рисунок 4 Внешний вид установки и оптическая схема:
а - объект-микрометр; б – микроскоп с рисовальным аппаратом; в - оптическая схема установки

2.3 Вывод расчетной формулы увеличения микроскопа

Для определения увеличения микроскопа нужно сосчитать сколько делений N_1 объект-микрометра совпадает с определенным количеством делений N_2 (~10мм) обычной линейки, т.е.

$$Ka_1N_1 = a_2N_2, \quad (2)$$

где a_1 – цена деления объект-микрометра (0,01мм),
 a_2 – цена деления миллиметровой линейки (1мм),
 K – увеличение микроскопа.

Из (2) следует формула для определения увеличения микроскопа:

$$K = \frac{a_2N_2}{a_1N_1}. \quad (3)$$

2.4 Вывод расчетной формулы для показателя преломления стекла

На рисунке 5 представлен ход светового луча от царапины P на нижней поверхности пластины. Луч PA идет в веществе, затем AC по воздуху и попадает в глаз наблюдателя. Наблюдателю, если он смотрит вдоль направлений CA или DB , точка P покажется

приподнятой над ее истинным положением, ее кажущееся положение P_1 , а кажущаяся толщина пластины d_1 .

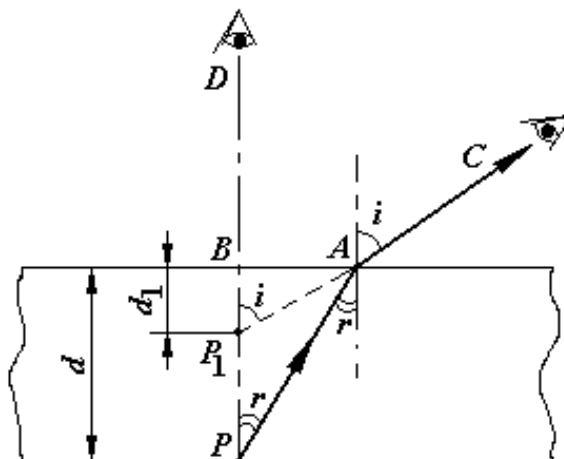


Рисунок 5 Ход лучей в стеклянной пластинке

Из треугольника BAP имеем:

$$AB = BP \cdot \operatorname{tg} r = d \cdot \operatorname{tg} r.$$

Из треугольника BAP_1 :

$$AB = BP_1 \cdot \operatorname{tg} i = d_1 \cdot \operatorname{tg} i.$$

Для малых углов $\operatorname{tg} r = \sin r$, $\operatorname{tg} i \approx \sin i$,

тогда:

$$\frac{BP}{BP_1} = \frac{d}{d_1} = \frac{\operatorname{tg} i}{\operatorname{tg} r} = \frac{\sin i}{\sin r}. \quad (4)$$

С другой стороны, из закона преломления света известно:

$$n = \frac{\sin i}{\sin r}. \quad (5)$$

Из (4) и (5) получаем расчетную формулу:

$$n = \frac{d}{d_1}. \quad (6)$$

3 Порядок выполнения работы и требования к оформлению результатов

3.1 Задание 1 Определение увеличения микроскопа

3.1.1 При подготовке к лабораторной работе необходимо изучить и законспектировать соответствующие темы по одному из учебников, указанных в библиографическом списке:

- для инженерных специальностей С.104 – 310 /1/, С.76 – 91 /4/,
- для неинженерных специальностей С.437 – 444 /3/.

3.1.2 На предметный столик микроскопа положить объект-микрометр.

3.1.3 Повернуть кольцо A (рисунок 4 б) на рисовальном аппарате против часовой стрелки и сфокусировать микроскоп с помощью винтов 3 и 3' (рисунок 6) на ясное видение шкалы объект-микрометра.

3.1.4 Параллельно объект-микрометру расположить на столе миллиметровую масштабную линейку.

3.1.5 Повернуть кольцо A по часовой стрелке так, чтобы одновременно увидеть изображение шкалы объект-микрометра и деления масштабной линейки.

3.1.6 Отсчитать, сколько делений объект-микрометра N_1 совпадает с некоторым числом делений линейки N_2 . Опыт повторить 3 раза. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1 Результаты определения увеличения микроскопа

№ опыта	Обозначение физических величин							
	N_1	N_2	K	\bar{K}	ΔK_i	$\overline{\Delta K}$	$\frac{\overline{\Delta K}}{\bar{K}}$	$\bar{K} \pm \frac{\overline{\Delta K}}{\Delta K}$
1								
2								
3								

3.1.7 По формуле 3 вычислить увеличение микроскопа K в каждом опыте, затем найти среднее увеличение микроскопа \bar{K} .

3.1.8 Результаты вычислений занести в таблицу 1.

3.1.9 Вычислить абсолютные погрешности отдельных опытов ΔK_i , а затем абсолютную и относительную погрешности для среднего значения \bar{K} ($\overline{\Delta K}$ и $\varepsilon_K = \frac{\overline{\Delta K}}{\bar{K}}$) по правилам математической статистики (последовательность расчетов показана далее в п.3.2.7).

3.2 Задание 2 Определение показателя преломления стекла при помощи микроскопа

3.2.1 Положить стеклянную пластинку на предметный столик микроскопа так, чтобы точка пересечения штрихов находилась в центре поля зрения.

3.2.2 Вращая рукоятку грубой фокусировки 3 (рисунок 3) против часовой стрелки, а затем осторожно вращая рукоятку механизма микрометрической фокусировки 3' в том же направлении до отказа, поднять тубус микроскопа в крайнее верхнее положение.

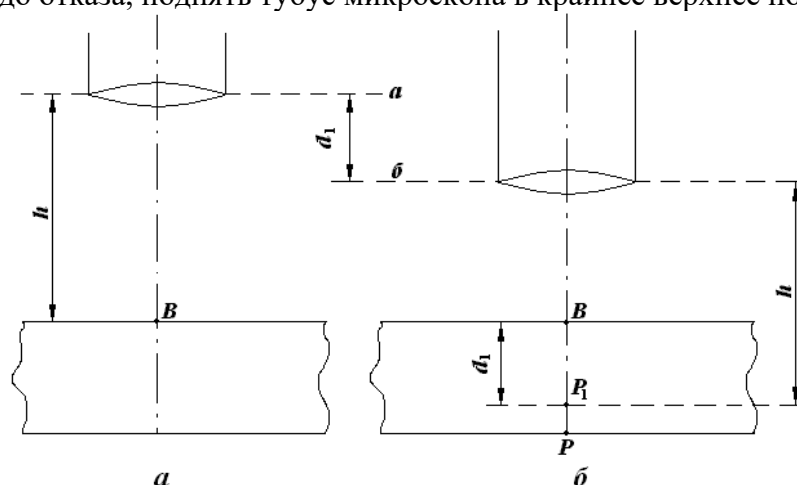


Рисунок 6 Два положения объектива микроскопа при измерении кажущейся толщины d_1 : a – фокусировка на верхнюю поверхность пластинки, b – фокусировка на нижнюю поверхность пластинки

После этого медленным вращением по часовой стрелке рукоятки грубой фокусировки опускать тубус микроскопа до тех пор, пока в поле зрения окуляра не получится более отчетливое изображение штриха B , нанесенного на верхнюю поверхность пластинки.

Записать начальное показание отсчетного барабана m_1 , (положение a). При этом объектив тубуса находится на расстоянии h от точки B (рисунок 6 а).

3.2.3 Вращать рукоятку механизма микрометрической фокусировки до тех пор, пока не получится наиболее отчетливое изображение штриха P_1 , нанесенного на нижней поверхности пластинки (положение b). При этом, как изображено на рисунке 6 б, объектив тубуса опять находится на расстоянии h от рассматриваемой точки P_1 .

Высота, на которую опустил тубус от положения a до положения b , равна кажущейся толщине $BP_1 = d_1$. Отсчитать количество полных оборотов барабана M и количество делений на барабане m_2 . Найти разность конечного и начального отсчетов барабана $m = m_2 - m_1$. Записать все данные в таблицу 2.

Таблица 2 Результаты измерений и вычислений

Обозначение физических величин							
№ опыта	M	m	d_1 , мм	d , мм	n	Δn_i	$\bar{n} \pm \Delta \bar{n}$
1							
2							
3							
среднее							

Кажущаяся толщина d_1 рассчитывается по формуле:

$$d_1 = (0,1M + 0,002m) \text{ мм}, \quad (7)$$

где M – число полных оборотов барабана (0,1 мм – шаг винта барабана);

m – число делений барабана при неполном обороте (цена одного деления барабана – 0,002мм).

3.2.4 Микрометром измерить толщину пластины d .

3.2.5 По формуле (6) рассчитать показатель преломления n .

3.2.6 Все измерения повторить не менее трех раз, измеренные и расчетные величины записать в таблицу 2.

3.2.7 Сделать расчет абсолютных погрешностей для каждого опыта Δn_i , затем найти их среднее значение $\overline{\Delta n}$.

3.2.8 Среднее квадратическое отклонение найти как произведение

$$S_n = 1,25 \cdot \overline{\Delta n},$$

затем по таблицам Стьюдента (Приложение А) для трех опытов ($N = 3$) и доверительной вероятности $P = 0,997$ (или для $P = 0,95$) найти коэффициент $t_{P,N}$.

Найти границы доверительного интервала

$$\Delta(\bar{n}) = S_n \cdot t_{P,N}$$

и относительную ε_n погрешность (%):

$$\varepsilon_n = \frac{\Delta(\bar{n})}{\bar{n}}.$$

3.2.9 Окончательный результат представить в виде

$$n = \bar{n} \pm \Delta(\bar{n}).$$

4 Контрольные вопросы

- 4.1 Что называется абсолютным и относительным показателем преломления?
- 4.2 Что называется фокусом линзы, оптической силой?
- 4.3 Начертите ход лучей в микроскопе.
- 4.4 Что такое разрешающая способность микроскопа?
- 4.5 Как определить увеличение микроскопа?
- 4.6 Как определить показатель преломления стекла с помощью микроскопа?
- 4.7 Начертите ход лучей в пластинке и выведите формулу для определения показателя преломления.
- 4.8 Как влияет толщина пластинки на точность определения показателя преломления?
- 4.9 Какова зависимость между показателем преломления и длиной волны света в вакууме и в среде? Каким термином принято называть зависимость n от λ ?

Лабораторная работа №15 Изучение внутренних напряжений в телах с помощью поляризованного света

Цель и задачи работы: Знакомство с методами получения и исследования поляризованного света, экспериментальная проверка закона Малюса, исследование внутренних напряжений в двутавровой балке методом фотоупругости.

1 Общие сведения

Поляризация света – свойство света, проявляющееся в пространственно–временном упорядочении векторов напряженности электрического \vec{E} и магнитного \vec{H} полей электромагнитных волн.

Применение поляризации света весьма разнообразно: исследование строения кристаллов, плавное изменение и регулировка интенсивности световых потоков, светоблокировка, высокочастотная модуляция света в оптических счетных машинах, сахариметрия, метод фотоупругости, применяемый для изучения распределения механической нагрузки в прозрачных моделях деталей машин и в строительстве и др.

Согласно волновой теории свет представляет собой поперечные электромагнитные волны. Реальные источники света содержат множество возбужденных атомов, излучающих по данному направлению волны, плоскости колебаний которых произвольно ориентируются в пространстве. Свет, в котором наблюдаются различные ориентации плоскости колебаний, называется естественным светом (рисунок 1а). А свет, в котором колебания вектора \vec{E} совершаются в одной плоскости, называется линейно - поляризованным светом (рисунок 1в). На рисунке 1б показано расположение векторов напряженности электрического поля \vec{E} в частично поляризованном свете. Фотохимическое, физиологическое и фотоэлектрическое действие оказывает электрическое поле, поэтому вектор \vec{E} считается более важным. В дальнейшем мы не будем упоминать о магнитном поле, хотя оно неотделимо от электрического в электромагнитной волне и всегда вектор напряженности магнитного поля перпендикулярен вектору напряженности электрического поля.

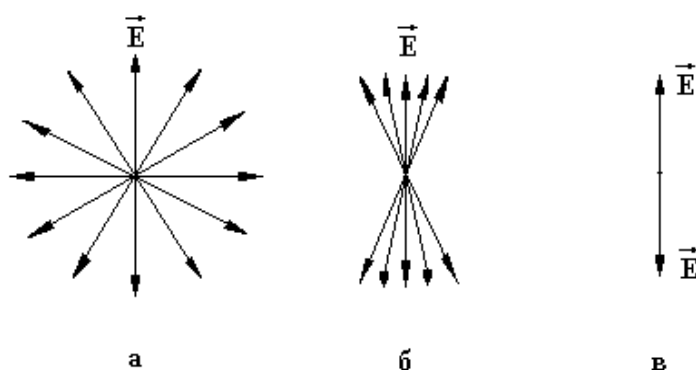


Рисунок 1 Изображения направлений векторов \vec{E} в пучке электромагнитных волн в: а – естественном; б - частично поляризованном и в - линейно поляризованном свете

Устройства, при помощи которых естественный свет превращается в поляризованный, называются поляризаторами.

В качестве поляризаторов часто используются призмы Николя. Призма Николя вырезается из кристалла исландского шпата. Грани и углы призмы имеют определенные размеры (рисунок 2).

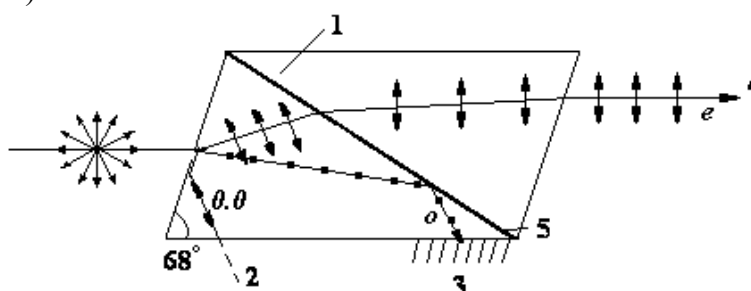


Рисунок 2 Ход лучей в призме Николя: 1 – кристалл исландского шпата, 2 – оптическая ось кристалла, 3 – обыкновенный луч (o), 4 – необыкновенный луч (e), 5 - склеивающий слой канадского бальзама

В призме распространяются две волны по разным направлениям. Обе волны поляризованы, но поляризованы они во взаимно перпендикулярных плоскостях. Один луч – обыкновенный (o), для него выполняется закон преломления света. Показатель преломления исландского шпата n_o для обыкновенного луча постоянен ($n = 1,66$). Другой луч – необыкновенный (e), он не подчиняется закону преломления, показатель преломления n_e зависит от угла падения естественного света на грань призмы. Для показателей преломления n_k , n_o и n_e выполняется условие:

$$n_o > n_k > n_e,$$

где n_k – показатель преломления склеивающего слоя (канадского бальзама).

Обыкновенный луч, падая на слой клея, испытывает полное отражение и поглощается затемненной гранью призмы. Необыкновенный луч, преломившись, проходит через призму (рисунок 2).

Причиной двойного лучепреломления является анизотропия поляризуемости молекул, которая ведет к тому, что диэлектрическая проницаемость, а, значит, и показатели преломления среды будут различны для разных направлений электрического вектора световой волны в кристалле.

В учебных лабораториях для получения линейно поляризованного света используются доступные и дешевые приборы – поляроиды, в которых происходит явление оп-

тического дихроизма, т.е. различного поглощения обыкновенного и необыкновенного лучей. Из поляроида выходит свет, поляризованный в одной плоскости, совпадающей с главной плоскостью поляроида.

Если на пути распространения поляризованного света, вышедшего из поляроида 1 (поляризатор), расположить поляроид 2 (анализатор), то можно определить степень поляризации света, падающего на анализатор (рисунок 3).

Через анализатор пройдут только колебания с амплитудой:

$$E_1 = E_o \cdot \cos \alpha . \quad (1)$$

Другая часть - $E_2 = E_o \sin \alpha$ поглотится анализатором.

Интенсивность J световой волны равна энергии, переносимой волной за единицу времени через единицу площади поверхности, перпендикулярной к направлению распространения волны. J пропорциональна квадрату амплитуды E^2 , тогда от выражения (1) можно перейти к закону Малюса:

$$J = J_0 \cos^2 \alpha , \quad (2)$$

где J – интенсивность света, вышедшего из анализатора, J_0 – интенсивность света, падающего на анализатор, α - угол между главными сечениями поляризатора и анализатора.

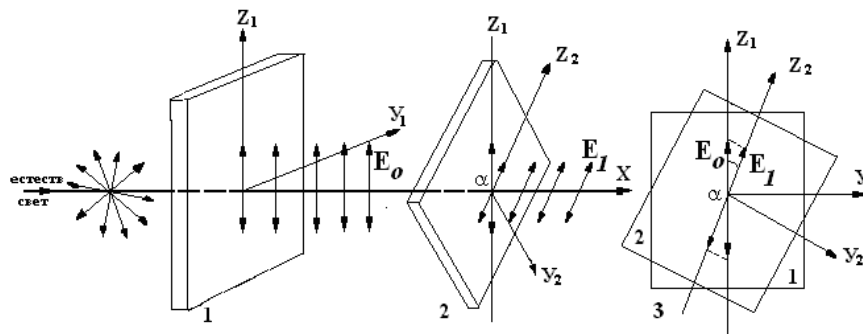


Рисунок 3 Схема опыта для проверки закона Малюса: 1 - поляризатор; 2 - анализатор; 3 - изображение векторов E_o и E_1 в плоскости чертежа

2 Описание лабораторной установки

В лабораторную установку входят: оптическая скамья, осветительный фонарь, две поляроидные пленки, винтовой пресс с моделью из оргстекла, объектив, экран, люксметр (рисунок 5).

Люксметр 12 используется для проверки закона Малюса (задание 1) (при этом необходимо убрать с оптической скамьи винтовой пресс или с помощью винтов опустить его как можно ниже). При выполнении задания 2 винтовой пресс поднимается, а с экрана убирается фотоэлемент 11, и на белую поверхность проецируется интерференционная картина от балки 6.

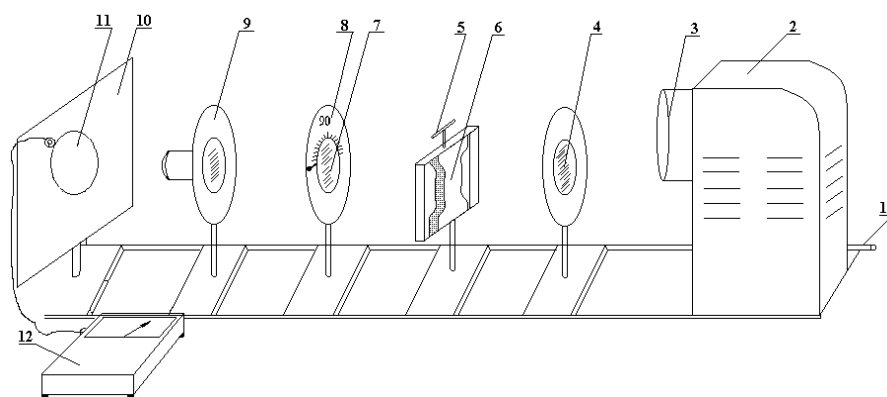


Рисунок 5 Схема лабораторной установки:

1 – оптическая скамья; 2 – осветительный фонарь; 3 – конденсорная линза; 4 – поляризатор; 5 – винтовой пресс; 6 – профиль балки из оргстекла; 7 – анализатор; 8 – круговая шкала для измерения угла поворота; 9 – объектив; 10 – экран; 11 – фотоэлемент люксметра;
12 – люксметр

3 Порядок выполнения работы и требования к оформлению результатов

При подготовке к лабораторной работе необходимо изучить и сделать конспект по одному из учебников, указанных в библиографическом списке:

- для инженерных специальностей С.357 – 366 /1/, С.465 – 473/2/, С.188 – 210/4/;
- для неинженерных специальностей С.485 – 493 /3/.

3.1 Задание Проверка закона Малюса

3.1.1 Включить осветительный фонарь 2 (рисунок 5).

3.1.2 Перемещением объектива 9 по оптической скамье спроецировать световой пучок на рабочую поверхность фотоэлемента 11.

3.1.3 Стрелку на анализаторе 7 установить на «0» по круговой шкале 8.

3.1.4 Вращением поляризатора 4 добиться максимального показания шкалы люксметра 12, что соответствует максимуму интенсивности светового потока.

3.1.5 Вращать анализатор от 0 до 180° и через каждые 10° измерять i показание люксметра. Результаты записать в таблицу 2.

Таблица 2 Результаты проверки закона Малюса

Номер опыта	Обозначение физических величин			
	$\alpha, \text{град}$	$\cos^2 \alpha$	$i_{\text{ЭКСП}}$	$i_{\text{ТЕОР}}$
1				
2				
3				
4				
5				
...				

3.1.6 Построить два графика зависимости i от $\cos^2 \alpha$ на одной координатной плоскости: 1-й - по экспериментальным данным и 2-й - по теоретическим расчетам согласно формуле Малюса (2):

$$i_{TEOP} = i_0 \cos^2 \alpha, \quad (4)$$

где i_0 – максимальное показание люксметра, соответствующего углу $\alpha = 0^\circ$.

3.1.7 Объяснить причину расхождения графиков, если оно будет наблюдаться.

4 Контрольные вопросы

- 4.1 Какой свет называется естественным, а какой - поляризованным?
- 4.2 Какие источники света дают плоско поляризованный свет?
- 4.3 Как можно получить поляризованный свет из естественного?
- 4.4 Что такое анализатор, чем он отличается от поляризатора?
- 4.5 Как формулируется закон Малюса?
- 4.6 Какое явление называется двойным лучепреломлением?
- 4.7 Могут ли интерферировать обыкновенный и необыкновенный лучи?
- 4.8 Какое явление называется дихроизмом?
- 4.9 Каково назначение люксметра?
- 4.10 В чем суть метода фотоупругости?

Лабораторная работа № 16

Определение показателя преломления жидкостей рефрактометром

Цель и задачи работы: Ознакомление с основными законами геометрической оптики; изучение принципа действия рефрактометра и определение показателей преломления жидкостей; определение концентрации растворов по экспериментальному графику.

1 Общие сведения

Показатель преломления является важнейшей оптической характеристикой жидкости, связан с ее химической структурой, с концентрацией раствора и ее плотностью.

Явление полного отражения света используется в призмах полного отражения. Такие призмы применяются в оптических приборах (например, в биноклях, перископах), а также в рефрактометрах, позволяющих определять показатели преломления тел (жидких и твердых).

Явление полного отражения используется также в световодах, представляющих собой тонкие, произвольным образом изогнутые нити (волокна) из оптически прозрачного материала. В волоконных кабелях применяется стеклянное волокно, сердцевина которого окружается оболочкой из материала с меньшим показателем преломления.

Свет, падающий на торец световода под углами, большими предельного, претерпевает на поверхности раздела сред полное отражение и распространяется только по световодящей жиле. Световоды используются в электронно-лучевых трубках, в электронно-вычислительных машинах, для кодирования информации, в медицине (например, для диагностики желудка), для целей интегральной оптики и т.д.

2 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из прибора рефрактометра, набора растворов с известной и неизвестной концентрациями, мягкой ткани или чистой ваты, настольной лампы.

Приборы рефрактометры позволяют быстро и точно определять показатели преломления жидких и некоторых твердых веществ.

В основе работы рефрактометра лежит явление обратное явлению полного внутреннего отражения, т.е. луч на границу двух сред направляют скольльзящим, угол падения φ_1 близок к 90° , а преломленный луч имеет угол φ близкий к предельному (рисунок 1), тогда из закона преломления света

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi}$$

получим показатель преломления жидкости

$$n_1 = n_2 \cdot \sin \varphi, \quad (1)$$

где n_2 – показатель преломления стекла призмы, известная величина в данном приборе.

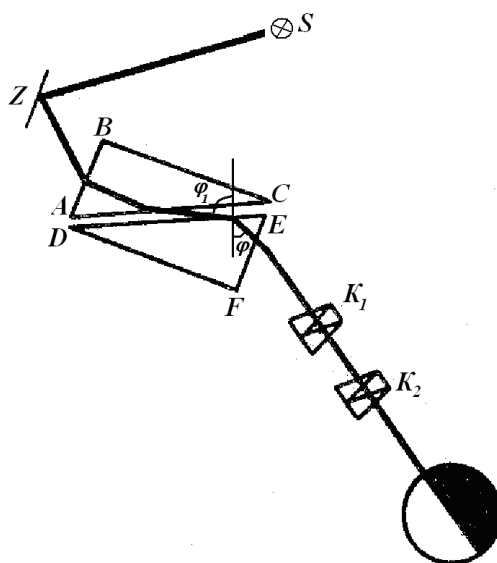


Рисунок 1 Оптическая схема призм рефрактометра:
 ABC – осветительная призма, DEF – измерительная призма; S – источник света, Z – зеркало, K_1 и K_2 – призмы компенсатора дисперсии

Основной частью прибора является призмный блок – две призмы ABC и DEF , изготовленные из стекла «флинт» с большим показателем преломления ($n_2 = 1,72$). Призмы сложены «гипотенузами» и вмонтированы в полые кожухи. Верхнюю призму открывают, на нижнюю призму (измерительную) наносят пипеткой 2-3 капли исследуемой жидкости, затем верхнюю призму (осветительную) закрывают. Пучок световых лучей от источника света S направляется на грань AB призмы ABC .

Преломившись, лучи проходят призму и достигают грани AC . Так как эта грань матовая, то происходит рассеяние света. Лучи рассеянного света, пройдя через жидкость, падают на грань DE второй призмы под различными углами. Показатель преломления стекла больше показателя преломления жидкости, поэтому наибольший угол преломления в призме DEF будет предельным углом полного внутреннего отражения φ .

В поле зрения трубы будут наблюдаться две области: одна половина светлая, другая – темная. Положение границы светотени определяется величиной предельного угла, т.е. зависит от показателя преломления жидкости согласно формуле (1).

Оптическая схема рефрактометра показана на рисунке 2.

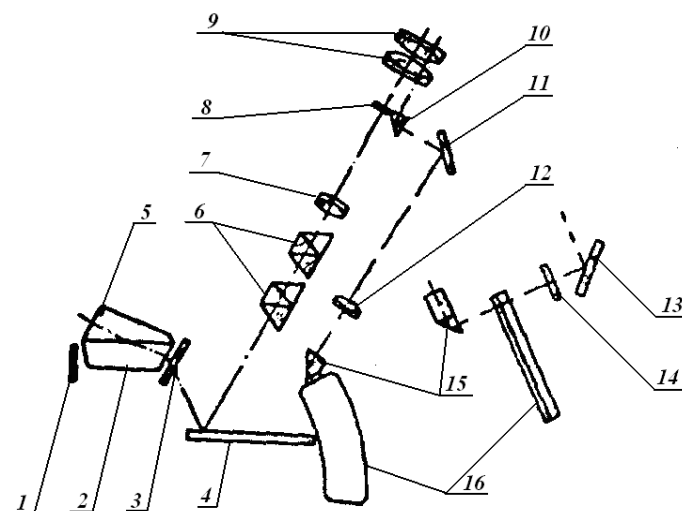


Рисунок 2 Оптическая схема рефрактометра ИРФ- 454:

- 1 – зеркало; 2 – призма измерительная; 3 – стекло защитное;
 4 – зеркало; 5 – призма осветительная; 6 – компенсатор; 7 – линза склеенная; 8 – сет-
 ка; 9 – окуляр; 10 – призма $AP-90^0$; 11 – зеркало; 12 – объектив; 13 – зеркало; 14 –
 светофильтр;
 15 – призма; 16 – шкала

Поскольку показатель преломления стекла призмы n_2 известен заранее, то шкалу рефрактометра градуируют непосредственно в значениях величины n_1 с точностью до четвертого знака после запятой. Для разных длин волн света показатель преломления различен, поэтому при освещении белым (не монохроматическим) светом граница светотени будет окрашена в разные цвета, вследствие явления дисперсии света в призме. Для устранения дисперсии в зрительную трубу вмонтирован компенсатор, который состоит из двух призм прямого зрения K_1 и K_2 (рисунок 1) и 6 (рисунок 2).

Призмы компенсатора дисперсии вращаются вокруг оптической оси в противоположные стороны и изменяют дисперсию от максимальной до нуля.

Показатель преломления прозрачных сред определяют в проходящем свете, а полупрозрачных и мутных – в отраженном.

При работе в отраженном свете измерительную призму 15 подсвечивают зеркалом. Так как показатель преломления исследуемого вещества (особенно жидкости) в значительной мере зависит от температуры, то при измерениях её необходимо поддерживать постоянной. Для этого предусмотрены камеры, через которые пропускают термостатированную воду. Подводят и отводят её резиновыми шлангами, надеваемыми на штуцеры 9, 12. Для контроля температуры в штуцер ввинчивают термометр.

Зеркало 11 служит для подсветки шкалы и имеет разворот в двух плоскостях. Окуляр может быть установлен на резкость в пределах ± 5 диоптрий.

Быстрее всего в рефрактометре выходят из строя призмы, поэтому следует соблюдать меры предосторожности при обращении с ними. Протирать поверхности призм следует чистой мягкой салфеткой. После измерений не оставлять раствор на призме, промыть дополнительно дистиллированной водой и просушить. Наносить жидкость следует каплями и не прикасаться пипеткой или шприцом к поверхности стекла.

При любой неисправности прибора необходимо поставить в известность преподавателя. Откручивать и открывать силой подвижные части прибора строго запрещается.

3 Порядок выполнения работы и требования к оформлению результатов

3.1 При подготовке к лабораторной работе необходимо изучить и законспектировать законы геометрической оптики из учебников, указанных в библиографическом списке:

- для инженерных специальностей С.302 – 304 /1/, С.76 – 91 /4/;
- для неинженерных специальностей С.430 – 435 /3/.

3.2 Открыть верхнюю призму 7 (рисунок 3) рефрактометра и нанести пипеткой на нижнюю призму 3 2-3 капли исследуемой жидкости, например, дистиллированной воды. Затем опустить откидную осветительную призму вплотную к нижней призме.

3.3 На окно осветительной призмы 7 направить свет от лампы (второе окно должно быть при этом закрыто заслонкой 14). Сфокусировать окуляр зрительной трубы и, вращая зеркало 11, добиться яркого освещения поля зрения и шкалы.

3.4 Вращая ручку компенсатора устранить окраску границы раздела.

3.5 Вращая ручку поворота призм, подвести визирный крест в поле зрения до совпадения с границей раздела светотени и по шкале отсчитать значение показателя преломления дистиллированной воды до четвертого знака после запятой.

3.6 Измерить показатели преломления нескольких растворов с известной концентрацией глюкозы C_1 , C_2 , C_3 и с неизвестной концентрацией C_{x1} и C_{x2} .

3.7 Опыт повторить 3 раза, найти для каждой концентрации n , затем найти среднее \bar{n} , измеренные и рассчитанные величины записать в таблицу 1.

Таблица 1 Результаты измерений показателя преломления

Обозначение физических величин							
Концентрация, $C, \%$	№ опыта	вода 0 %	C_1 3 %	C_2 6 %	C_3 12 %	C_{x1}	C_{x2}
Показатель преломления, n	1						
	2						
	3						
	среднее						

3.8 На основании полученных данных построить график зависимости показателя преломления (средних значений) от концентрации растворов. График должен быть линейным (на миллиметровой бумаге размером не меньше 15×15 см). Несовпадение точек с графиком возможно вследствие изменения концентрации раствора со временем из-за испарения воды или из-за осаждения части растворенного вещества.

3.9 Из графика $n = f(C)$ найти неизвестную концентрацию C_x по его показателю преломления.

3.10 По разбросу точек около линейного графика определить наибольшее отклонение от графика ΔC_x (экспериментальная погрешность).

3.11 Найти инструментальную погрешность концентрации, она пропорциональна погрешности показателя преломления:

$$\Delta C_x = k \Delta n,$$

где k – угловой коэффициент наклона графика.

Из технического паспорта рефрактометра ИРФ – 454 известно, что предел допускаемой основной погрешности показателя преломления $\Delta n = \pm 2 \cdot 10^{-4}$ (инструментальная погрешность).

3.12 Записать окончательный результат в цифровом виде:

$$C_x = C_x \pm \Delta C_x,$$

где ΔC_x - одна из погрешностей – инструментальная или экспериментальная – та, которая больше.

3.13 В отчете привести только рисунок оптической схемы призмленного блока рефрактометра (рисунок 1).

4 Контрольные вопросы

- 4.1 Что называется показателем преломления вещества, от чего он зависит?
- 4.2 Объясните законы отражения и преломления света.
- 4.3 В чем суть явления полного внутреннего отражения?
- 4.4 Как связан предельный угол преломления с относительным и абсолютным показателями преломления среды?
- 4.5 Начертите ход лучей в призмленном блоке рефрактометра.
- 4.6 Почему при освещении белым светом граница раздела поля зрения становится радужной?
- 4.7 Почему одна половина поля зрения темная, а другая светлая?
- 4.8 Как с помощью рефрактометра можно определять концентрацию растворов?
- 4.9 Можно ли с помощью рефрактометра определить показатель преломления непрозрачных жидкостей?
- 4.10 Где применяется явление полного внутреннего отражения?

Лабораторная работа № 17 Изучение фотоэффекта и определение характеристик вакуумного фотоэлемента

Цель и задачи работы: Изучение законов фотоэффекта, исследование зависимости силы фототока от напряжения и от светового потока, определение чувствительности фотоэлемента.

1 Общие сведения

Фотоэффектом называется освобождение (частичное или полное) электронов от связей с атомами и молекулами вещества под действием электромагнитного излучения, в частности, света.

Фотоэффект – явление, открытие и исследование которого сыграли важную роль в развитии квантовой теории света.

Первые фундаментальные исследования внешнего фотоэффекта были выполнены русским ученым А.Г. Столетовым.

Экспериментально были установлены следующие законы:

1) Величина фототока насыщения прямо пропорциональна световому потоку, падающему на катод, т.е.:

$$I_{\phi} = K \cdot \Phi, \quad (1)$$

где K – коэффициент пропорциональности, называемой фоточувствительностью фотоэлемента, зависящий от спектрального состава светового потока; Φ – световой поток, лм. Фоточувствительность фотоэлемента прежде всего зависит от материала катода.

2) Кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты падающего света и не зависит от его интенсивности.

3) Независимо от интенсивности падающего на катод света фотоэффект начинается только при определенной характерной для данного металла минимальной частоте света, называемой «красной границей» фотоэффекта.

Эйнштейн в 1905 году показал, что явление фотоэффекта и его закономерности могут быть объяснены на основе квантовой теории света. Согласно теории Эйнштейна свет частотой ν не только испускается, но и распространяется в пространстве и поглощается веществом отдельными порциями (квантами). Энергия квантов определяется формулой Планка:

$$E = h \cdot \nu, \quad (2)$$

где $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с - постоянная Планка; ν - частота света, Гц.

Эйнштейном была выведена формула, объясняющая второй и третий законы фотоэффекта:

$$h \cdot \nu = A_{\phi} + \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad (3)$$

где m – масса электрона, кг; v - скорость электрона, м/с; A_{ϕ} – работа выхода электрона, Дж.

Согласно (3) энергия кванта света расходуется на совершение работы A_{ϕ} выхода электрона из металла и на сообщение электрону кинетической энергии.

2 Описание установки и вывод расчетной формулы

Для выполнения данной лабораторной работы используется фотоэлемент, оптическая скамья с источником света и со шкалой, микроамперметр, вольтметр, выпрямитель.

Рассмотрим вакуумный фотоэлемент с внешним фотоэффектом. Он представляет собой стеклянный баллон, внутренняя поверхность которого покрыта фоточувствительным слоем, служащим фотокатодом. В качестве анода обычно используется кольцо или сетка, помещенная в центре баллона. При освещении катода в цепи возникает электрический ток (рисунок 1).

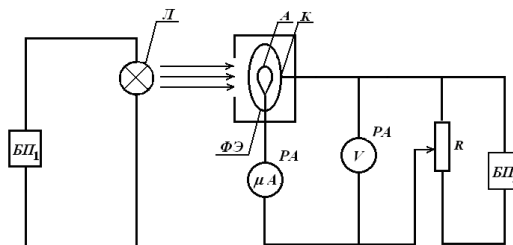


Рисунок 1 Электрическая схема установки: ФЭ - вакуумный фотоэлемент; БП₁ – блок питания лампы; БП₂ – блок питания фотоэлемента; Л – лампа; К – катод и А – анод фотоэлемента; РА – микроамперметр; PV – вольтметр; R – потенциометр

Большинство современных фотоэлементов имеют сурьмяно-цезиевые или кислородно-цезиевые катоды, обладающие высокой чувствительностью, являющейся основной характеристикой фотоэлемента.

Интегральная чувствительность фотоэлемента K выражается величиной силы тока в микроамперах, возникающего в цепи фотоэлемента при падении на него светового потока в один люмен от стандартного источника излучения (вольфрамовая лампа со световым потоком $\Phi = 300$ лм):

$$K = \frac{I_{\Phi}}{\Phi}. \quad (4)$$

3 Порядок выполнения работы и требования к оформлению результатов

При подготовке к лабораторной работе необходимо изучить и законспектировать следующие библиографические источники:

- для неинженерных специальностей С. 529 /1/, С. 378-383 /2/;
- для инженерных специальностей С. 37 /3/, С. 431-494 /4/.

Задание 1 Получение вольтамперной характеристики $I_{\Phi}=f(U)$ при $\Phi = \text{const}$

- 3.1 Собрать электрическую цепь по схеме, изображенной на рисунке 1.
- 3.2 После проверки схемы преподавателем включить источник питания и установить с помощью потенциометра напряжение $U=0$.
- 3.3 Поместить фотоэлемент на расстоянии $r_1=25$ см от лампы.
- 3.4 Записать показания микроамперметра, изменяя с помощью потенциометра напряжение от 0 до 100 В с интервалом в 5 В.
- 3.5 Поместить фотоэлемент на расстоянии $r_2 = 15$ см от лампы и также, как в пункте 3.4, записать показания микроамперметра, изменяя напряжение с помощью потенциометра.
- 3.6 Данные занести в таблицу 1.

Таблица 1 Экспериментальные данные для построения вольтамперных характеристик

№ опытов	Обозначения физических величин					
	$r_1, \text{ м}$	$I_{\Phi}, \text{ мкА}$	$U, \text{ В}$	$r_2, \text{ м}$	$I_{\Phi}, \text{ мкА}$	$U, \text{ В}$
1						
2						
3						
4						
...						

3.7 Построить две вольтамперные характеристики, выражающие зависимость $I_{\Phi}=f(U)$, на одной координатной плоскости.

Задание 2 Получение световой характеристики $I_{\Phi}=f(\Phi)$

- 3.1 Установить с помощью потенциометра R напряжение $U=100\text{В}$.
- 3.2 Поместить фотоэлемент на расстоянии $r = 15$ см от лампы и включить лампу, измерить величину фототока I_{Φ} с помощью микроамперметра.
- 3.3 Удаляя фотоэлемент от источника света через каждые 5 см, измерить силу тока и записать значения I_{Φ} и r в таблицу 2.

Таблица 2 Экспериментальные и расчетные данные для построения световой характеристики $I_{\Phi}=f(\Phi)$

№	Обозначения физических величин
---	--------------------------------

опыта	Φ_o , лм	S , м ²	r , м	r^2 , м ²	I_ϕ , мкА	Φ , лм	\bar{K} , мкА/лм
1							
2							
3							
4							
...							

3.4 Результаты показать преподавателю, а потом отключить питание.

3.5 Рассчитать для всех расстояний r соответствующие значения светового потока, попавшего на катод фотоэлемента:

$$\Phi = \frac{\Phi_o \cdot S}{4\pi \cdot r^2}, \quad (5)$$

где Φ_o – полный световой поток, лм;

S – площадь входного отверстия в защитном кожухе фотоэлемента ($S = 2,25 \cdot 10^{-4}$ м²).

3.6 Построить график световой характеристики $I_\phi = f(\Phi)$.

3.7 Определить интегральную чувствительность фотоэлемента \bar{K} , как угловой коэффициент световой характеристики.

3.8 Расчет погрешности ΔK произвести по инструментальным погрешностям ΔI , Δr , $\Delta \pi$.

Максимальную относительную погрешность можно найти по формуле:

$$\varepsilon_K = \frac{\Delta K}{K} = \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta r}{r}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \pi}{\pi}\right)^2}, \quad (6)$$

где a – сторона квадратного входного отверстия защитного кожуха фотоэлемента $\Delta r = \Delta a = 1$ мм, $\Delta \pi = 0,005$, ΔI находится по классу точности микроамперметра γ :

$$\Delta I = \frac{\gamma \cdot I_{\max}}{100}.$$

3.9 Из формулы (6) найти абсолютную погрешность ΔK :

$$\Delta K = \varepsilon_K \cdot \bar{K}.$$

3.10 Результат записать в виде $K = \bar{K} \pm \Delta K$.

4 Контрольные вопросы

4.1 Какова физическая природа света?

4.2 Как действует свет на элементарные частицы, например, на свободный электрон, на орбитальный электрон в атоме?

4.3 Что называется внешним фотоэффектом, внутренним фотоэффектом?

4.4 Как сформулировать законы внешнего фотоэффекта?

4.5 О чем говорит уравнение Эйнштейна для фотоэффекта?

- 4.6 Как объясняются с точки зрения квантовой теории 1, 2, 3 законы фотоэффекта?
 4.7 Что такое задерживающее напряжение и как оно определяется?
 4.8 Каково устройство вакуумного фотоэлемента?
 4.9 Что выражает вольтамперная и световая характеристики?
 4.10 Что называется интегральной чувствительностью фотоэлемента и как она определяется?
 4.11 Что собой представляет спектральная чувствительность фотоэлемента?
 4.12 Каково назначение фотоэлемента, области его применения?

Лабораторная работа №18 Изучение законов теплового излучения

Цель и задачи работы: Изучение законов теплового излучения, устройства оптического пирометра, определение температуры нагретого тела и постоянной Стефана – Больцмана.

Оборудование: пирометрическая лампа, объектив, светофильтр, окуляр, кнопка включения пирометра, исследуемая лампа, ручка регулировки накала лампы пирометра, аккумулятор, амперметр, вольтметр, источник тока в цепи лампы накаливания, регулятор тока.

1 Общие сведения

Тепловым (или температурным) излучением называется электромагнитное излучение, испускаемое телами за счет их внутренней энергии, т.е. за счет движения атомов и молекул вещества. Оно свойственно всем телам при любой температуре выше нуля Кельвина.

Для количественной оценки теплового излучения вводятся следующие характеристики:

1) Энергетическая светимость или полная излучательная способность R_T – это энергия W , излучаемая с единицы площади поверхности S излучаемого тела по всем направлениям за единицу времени t при данной температуре T :

$$R_T = \frac{W_{изл}}{S \cdot T \cdot t} . \quad (1)$$

2) Спектральная излучательная способность или спектральная плотность энергетической светимости $R_{\lambda T}$ – это количество энергии dW , в узком интервале длин волн от λ до $\lambda + d\lambda$, испускаемой за единицу времени по всем направлениям с единицы площади поверхности S тела, имеющего температуру T :

$$R_{\lambda, T} = \frac{dW_{изл}}{S \cdot T \cdot t \cdot d\lambda} . \quad (2)$$

3) Спектральная поглощательная способность $A_{\lambda, T}$ – величина, показывающая, какая часть энергии излучения с длиной волны λ , достигающая за единицу времени площади поверхности тела, имеющего температуру T , поглощается им (коэффициент поглощения):

$$A_{\lambda T} = \frac{W_{погл}}{W_{пад}} . \quad (3)$$

В теории теплового излучения вводится понятие – абсолютно черное тело – тело, которое полностью поглощает весь падающий на него поток излучения. Коэффициент поглощения абсолютно черного тела $A_{\lambda, T}^{черн}$ равен единице. В природе абсолютно черных тел

нет, наиболее близким приближением к абсолютно черному телу является модель в виде непрозрачного сосуда сферической формы, стенки которого имеют одинаковую температуру.

Экспериментально установлено несколько законов теплового излучения:

1) Закон Кирхгофа. Отношение излучательной способности $R_{\lambda T}$ тел к их поглощательной способности $A_{\lambda T}$ не зависит от природы тел, а зависит от температуры тел и от длины волны излучения и равно излучательной способности абсолютно черного тела $r(\lambda, T)$:

$$\frac{R'_{\lambda, T}}{A'_{\lambda, T}} = \frac{R''_{\lambda, T}}{A''_{\lambda, T}} = \frac{R'''_{\lambda, T}}{A'''_{\lambda, T}} = \dots = r(\lambda, T). \quad (4)$$

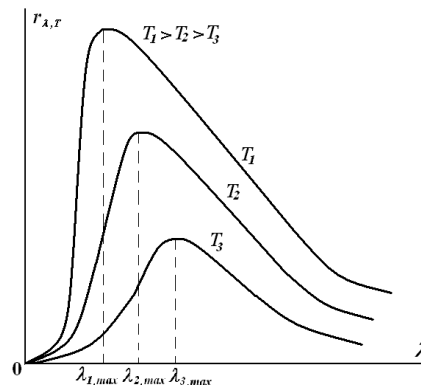


Рисунок 1 Спектр излучения абсолютно черного тела

Энергетической светимостью R_T абсолютно черного тела называется количество энергии, излучаемой с единицы площади за единицу времени для всех длин волн:

$$R_T = \int_0^{\infty} r_{\lambda, T} d\lambda. \quad (5)$$

2) Закон Стефана-Больцмана. Энергетическая светимость абсолютно черного тела R_T прямо пропорциональна четвертой степени термодинамической температуры

$$R_T = \sigma T^4, \quad (6)$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$ – постоянная Стефана-Больцмана.

3) Закон Вина (закон смещения). Длина волны λ_{max} , на которую приходится максимум излучательной способности, обратно пропорциональна термодинамической температуре абсолютно черного тела:

$$\lambda_{max} = \frac{b_1}{T}, \quad (7)$$

где $b_1 = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$.

2 Описание установки и вывод расчетной формулы

Для выполнения данной лабораторной работы используются пирометр, источник теплового излучения (лампа накаливания), амперметр, вольтметр, калибровочный график.

Законы излучения абсолютно черного тела используются при измерении температуры раскаленных и самосветящихся тел (например, расплавленного металла в доменных печах, звезд). Методы измерения высоких температур, использующие законы теплового излучения, называются оптической пирометрией.

Приборы, предназначенные для измерения температуры нагретых тел по интенсивности их теплового излучения в оптическом диапазоне спектра, называются пирометрами. В зависимости от того, какой закон теплового излучения используется при измере-

нии температуры тел, различают радиационную, цветовую и яркостную температуру. Так как интенсивность теплового излучения резко убывает с уменьшением температуры тел, методы пирометрии применяют для измерения сравнительно высоких температур. При $T < 1000^\circ\text{C}$ они играют второстепенную роль, при $T > 1000^\circ\text{C}$ становятся главными, а при $T > 3000^\circ\text{C}$ практически единственными методами измерения температуры. Связано это с тем, что методы пирометрии не требуют контакта датчика измерительного прибора с телом, температура которого измеряется. Основное условие применимости методов пирометрии – излучение тела должно быть чисто тепловым, т.е. должно подчиняться закону излучения Кирхгофа.

В настоящей работе измерение температуры тела проводится при помощи яркостного пирометра с исчезающей нитью, обеспечивающего наибольшую точность в диапазоне температур от 10^3 до 10^4 К. Этот метод основан на визуальном сравнении монохроматических яркостей эталона и изображения раскаленного тела (вольфрамовой спирали лампы накаливания). В качестве эталона яркости в оптическом пирометре используется пирометрическая лампа 1 (рисунок 2), для которой известна зависимость температуры нити от тока, протекающего по ней.

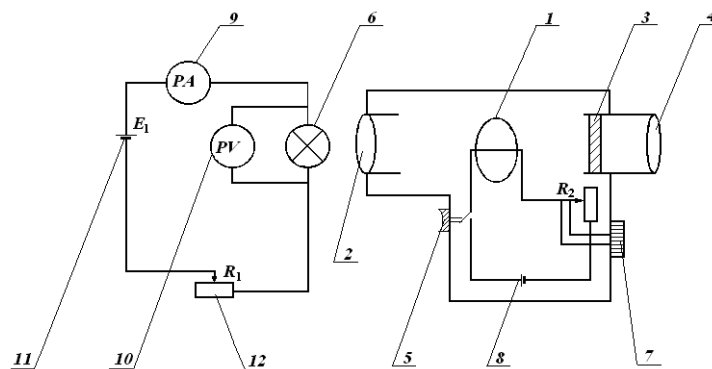


Рисунок 2 Оптическая и электрическая схема установки:

1- пирометрическая лампа; 2- объектив; 3- светофильтр;
4-окуляр; 5-кнопка включения пирометра; 6-исследуемая
лампа; 7-ручка регулировки накала лампы пирометра;

8-аккумулятор; 9-амперметр; 10- вольтметр; 11-источник тока в цепи лампы нака-
ливания; 12-регулятор тока

Изображение источника излучения 6, температуру которого хотят измерить, с помощью объектива 2 проецируется в плоскости пирометрической лампы 1. Наблюдатель, смотрящий в окуляр 4, видит нить пирометрической лампы на фоне спирали лампы накаливания. Регулируя ток накала лампы пирометра регулятором R_2 , можно добиться того, что она станет одинаковой яркости с исследуемой нитью и перестанет быть видимой на фоне спирали, т.е. «исчезает». В этом режиме и следует определить температуру по шкале прибора.

Так как исследуемая нить не является абсолютно черной, то найденная таким образом температура тела $T_{\text{ЯРК}}$ всегда ниже ее истинной термодинамической температуры, так как любое тело излучает меньше энергии, чем абсолютно черное тело при той же температуре (согласно закону Кирхгофа). Для того, чтобы определить истинную температуру, нужно учесть поправку ΔT , тогда

$$T_{\text{ИСТ}} = T_{\text{ЯРК}} + \Delta T. \quad (8)$$

На рисунке 3 представлена зависимость поправки ΔT от температуры $T_{\text{ЯРК}}$.

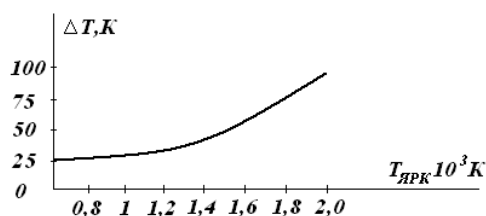


Рисунок 3 Зависимость температурной поправки ΔT от яркостной температуры

По закону Стефана-Больцмана для серого тела энергетическая светимость:

$$R_T = a_T \cdot \sigma T^4, \quad (9)$$

где a_T – коэффициент поглощения (для вольфрама $a_T=0,45$).

Мощность излучения тела, имеющего температуру T в среде с температурой T_0 :

$$N_1 = R_T \cdot S = a_T \cdot \sigma (T^4 - T_0^4) \cdot S, \quad (10)$$

где S – площадь излучающей поверхности (для лампы в данной лабораторной установке $S = 0,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$).

На поддержание накала нити лампы затрачивается мощность:

$$N_2 = I \cdot U, \quad (11)$$

где I – сила тока, A ;

U – напряжение, B .

При равновесной температуре нити (т.е. $T = \text{const}$)

$$N_1 = N_2, \quad (12)$$

поэтому

$$a_T \cdot \sigma (T^4 - T_0^4) \cdot S = I \cdot U.$$

Отсюда получим выражение для постоянной Стефана-Больцмана:

$$\sigma = \frac{I \cdot U}{a_T \cdot S (T^4 - T_0^4)}. \quad (13)$$

Поскольку $T^4 < T_0^4$, то можно приближенно записать:

$$\sigma = \frac{I \cdot U}{a_T \cdot S \cdot T^4}. \quad (14)$$

3 Порядок выполнения работы и требования к оформлению результатов

3.1 При подготовке к лабораторной работе необходимо изучить и законспектировать теоретический материал.

3.2 Изучить электрическую схему установки (рисунок 2).

3.3 Подготовить оптический пирометр к работе: проверить положение стрелки пирометра на нуле, поставить на окуляре 4 красный светофильтр 3. Нажать на кнопку 5 (рисунок 2) на рукоятке пирометра и, глядя в окуляр, увидеть раскаленную горизонтальную нить пирометра и навести на резкое её изображение шайбой окуляра.

3.4 Включить цепь исследуемой лампы.

3.5 Вращением ручки 7 (рисунок 2) и потенциометра R_I блока питания установить ток в цепи (по заданию преподавателя).

3.6 Навести окуляр на нить исследуемой лампы и вращением кольца объектива добиться четкого изображения нити. Изображение обеих нитей должно быть одинаково четким (рисунок 4).

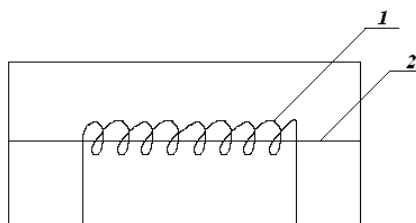


Рисунок 4 Поле зрения окуляра: 1 – нить исследуемой лампы;
2 – нить пирометрической лампы

3.7 Вращением рукоятки 7 (рисунок 2) пирометра добиться совпадения яркостей нити пирометрической лампы и изображения исследуемой спирали.

3.8 Записать показания амперметра, вольтметра и пирометра в таблицу 1.

3.9 Установить другое значение силы тока в цепи исследуемой лампы (всего должно быть не менее 3-х опытов). Определить температуру исследуемой спирали в каждом опыте. Перевести температуру из шкалы Цельсия в шкалу Кельвина.

3.10 По графику поправок найти ΔT , затем по формуле (8) температуру $T_{ист}$ (график поправок имеется в лаборатории).

3.11 По формуле (14) вычислить значения постоянной Стефана-Больцмана.

3.12 Определить среднее значение $\bar{\sigma}$, его среднюю экспериментальную абсолютную погрешность $\Delta\bar{\sigma}$ и среднюю квадратичную погрешность $S_{\sigma} = 1,25 \Delta\bar{\sigma}$. По таблице А1, приведенной в приложении А, для $n = 3$ и доверительной вероятности $P = 0,997$ найти коэффициент $t_{P,n}$ определить доверительный интервал $\Delta\sigma$.

3.13 Оценить погрешности приборов: ΔI , ΔU по классу точности амперметра и вольтметра, соответственно. Величину ΔT найти как половину цены наименьшего деления шкалы пирометра.

3.14 Рассчитать инструментальную относительную погрешность для первого опыта по формуле:

$$\varepsilon_{\sigma} = \frac{\Delta\sigma^*}{\sigma} = \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{4\Delta T}{T}\right)^2}. \quad (15)$$

3.15 Из выражения (15) найти абсолютную инструментальную погрешность

$$\Delta\sigma^* = \varepsilon_{\sigma} \cdot \bar{\sigma}.$$

Таблица 1 Результаты измерений и вычислений

№ опыта	Обозначения физических величин								
	I, A	U, B	$t, ^{\circ}C$	$T_{ЯРК}, K$	$\Delta T, K$	$T_{ист}, K$	$\sigma, Bm/m^2 \cdot K^4$	$\bar{\sigma}, Bm/m^2 \cdot K^4$	$\Delta\sigma, Bm/m^2 \cdot K^4$
1									
2									
3									

3.16 Окончательный результат работы записать в виде:

$$\sigma = \bar{\sigma} \pm \Delta\sigma,$$

где $\Delta\sigma$ – одна из двух погрешностей $\Delta\bar{\sigma}$ или $\Delta\sigma^*$, та, которая больше.

3.17 Результаты измерений и расчеты записать в таблицу 1.

4 Контрольные вопросы

4.1 Какое излучение называется тепловым?

4.2 Что такое энергетическая светимость, спектральная излучательная и поглощательная способности тел?

4.3 Какое тело называется абсолютно черным?

- 4.4 Сформулируйте закон Кирхгофа для теплового излучения.
 4.5 Сформулируйте законы Стефана-Больцмана и Вина.
 4.6 В чем заключается гипотеза Планка?
 4.7 Каково устройство и принцип действия оптического пирометра ?
 4.8 Почему яркостная температура, найденная пирометром, не является истинной температурой тела?
 4.9 Объясните, почему при нагревании металла его цвет изменяется от красного до голубого?
 4.10 Пользуясь законами теплового излучения, объясните, какие тела быстрее остывают и почему – черные или белые?

Лабораторная работа № 19

Определение активности радиоактивного вещества

Цель и задачи работы: Знакомство с основными понятиями радиоактивности и законом радиоактивного распада. Получение навыков работы с дозиметрической аппаратурой. Определение радиоактивности фона и активности радиоактивного источника.

1 Общие сведения

Явление радиоактивности было открыто французским физиком А. Беккерелем в 1896 г., затем подробно изучалось супругами Пьером и Марией Кюри, у которых было много последователей.

Радиоактивностью называется превращение неустойчивых изотопов одного химического элемента в изотопы другого элемента, сопровождающееся испусканием некоторых частиц и выделением энергии.

К числу радиоактивных явлений относятся:

а) α - распад; б) β - превращение (в том числе и электронный захват); в) γ - излучение.

В процессе радиоактивного распада каждое неустойчивое ядро распадается со своей скоростью, называемую активностью A радиоактивного распада:

$$A = \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right|. \quad (1)$$

Эта скорость пропорциональна числу нераспавшихся ядер N в данный момент времени t :

$$A_t = - \lambda N, \quad (2)$$

где λ - постоянная радиоактивного распада, характеризующая вероятность распада ядра в единицу времени. Знак «минус» характеризует убывание числа радиоактивных частиц, т.е. $\Delta N < 0$ при $\Delta t > 0$.

Для очень малого промежутка времени dt выражение (1) принимает вид:

$$dN = -\lambda N dt. \quad (3)$$

Интегрируя выражение (3) можно получить:

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (4)$$

где N_t – число оставшихся радиоактивных атомов через интервал времени t ; N_0 – число атомов радиоактивного элемента в некоторый начальный момент времени $t = 0$; $e = 2,71$ – основание натурального логарифма.

Соотношение (4) называется законом радиоактивного распада.

Время, за которое распадается половина первоначального количества неустойчивых ядер, называется периодом полураспада $T_{1/2}$. Это время определяется из условия:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}, \quad (5)$$

откуда

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}. \quad (6)$$

2 Описание установки и вывод расчетной формулы

Схема установки для определения радиационного фона и активности радиоактивного источника включает в себя: счетчик Гейгера-Мюллера, пересчетный прибор ПП-16, приставку БГС-4, радиоактивный источник, секундомер.

Для регистрации и измерения ядерных излучений применяют самые разнообразные приборы такие, как газоразрядные счетчики Гейгера – Мюллера, пропорциональные счетчики, сцинтилляционные счетчики, которые одновременно могут выполнять роль спектрометров, диффузионные камеры, туманные камеры Вильсона, пузырьковые камеры, черенковские счетчики. Регистрируют ядерные излучения также с помощью специальных фотоэмульсий. За последнее время разработаны различного вида твердые полупроводниковые и другие детекторы ядерных излучений.

Наиболее широкое применение в различных областях науки и техники нашли два вида детекторов: счетчики Гейгера – Мюллера и сцинтилляционные (люминесцентные) счетчики.

Широкому применению газоразрядных счетчиков Гейгера – Мюллера способствует высокая чувствительность, возможность регистрации разного рода излучений, большая величина выходного сигнала и сравнительная простота и дешевизна установки.

Счетчик Гейгера – Мюллера представляет собой герметизированную цилиндрическую трубку, заполненную инертным газом (или смесью газов) под давлением 10^4 Па. По оси трубки натянута тонкая металлическая нить (рисунок 1).

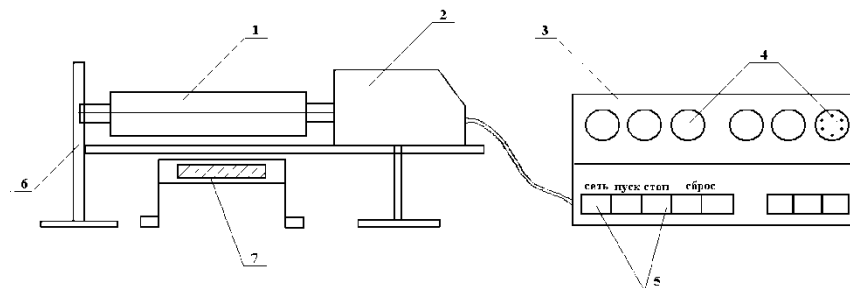


Рисунок 1 Схема лабораторной установки:

1 – счетчик Гейгера – Мюллера; 2 – приставка БГС – 4;

3 – пересчетный прибор ПП – 16; 4 – декатроны;

5 – кнопки управления; 6 – штатив;

7 – предметный столик для радиоактивного препарата

Стенки трубки сделаны из металла (Al, Cu и др.) или из стекла с металлизированным внутренним покрытием. Нить служит анодом, а стенки – катодом. При такой геометрии электродов напряженность электрического поля в счетчике крайне неравномерна: она велика близ нити в области, составляющей лишь малую часть общего объема детектора, и значительно меньше в остальном его объеме.

В газоразрядном счетчике используется явление ударной ионизации.

Сущность явления ударной ионизации заключается в следующем. На электрон, попавший в пространство между электродами счетчика, к которым приложена некоторая разность потенциалов, действует сила F , равная

$$F = eE, \quad (7)$$

где e – заряд электрона, Кл; E – напряженность электрического поля, В/м.

В процессе перемещения под действием силы скорость электрона увеличивается, а следовательно, увеличивается и его кинетическая энергия. На пути своего движения электрон сталкивается с нейтральными атомами или молекулами и передает им свою кинетическую энергию. В этом случае столкновение электрона с нейтральной молекулой будет сопровождаться ионизацией, и в рабочем объеме счетчика появится еще одна пара ионов.

Будем называть эти ионы первичными. Под действием сил электрического поля положительные ионы начнут перемещаться к катоду, а электроны – к аноду. Электроны образованные в результате ударной ионизации, в сильных электрических полях в свою очередь могут ускоряться и приобретать энергию, достаточную для следующего процесса ионизации – вторичной.

Таким образом, число электронов, движущихся к аноду, лавинообразно растет.

Движение положительных ионов и электронов к соответствующим электродам вызывает импульс тока в цепи счетчика и соответственно импульс напряжения на его электродах.

Кратковременный импульс напряжения усиливается радиотехническими способами в усилительной головке БГС-4 (рисунок 1) и передается на пересчетный прибор ПП-16, где преобразуется в световой сигнал декатронов (рисунок 1).

Использование счетчиков с самостоятельным разрядом для регистрации ионизирующих частиц возможно в том случае, если разряд, вызванный попавшей в счетчик частицей, будет погашен. В зависимости от применяемого способа гашения разряда счетчики делятся на несамогасящиеся (счетчики Гейгера – Мюллера) и самогасящиеся. В несамогасящихся счетчиках гашение разряда осуществляется гасящими радиотехническими устройствами, а в самогасящихся – путем введения внутрь счетчика гасящих примесей. В дозиметрической аппаратуре, используемой в гражданской обороне, применяют только самогасящиеся счетчики благодаря их преимуществам по сравнению с несамогасящимися.

Цилиндрический счетчик Гейгера – Мюллера предназначен для регистрации β -излучения и γ -излучения. В случае γ -излучения будут регистрироваться вторичные электроны, вырванные γ -квантами из катода (фотоэффект) и попавшие в рабочий объем счетчика. Поэтому эффективность счетчика Гейгера – Мюллера к γ -лучам меньше, чем к заряженным частицам.

Для α -лучей применяется конструктивно другой тип счетчика – торцовый с тонким окном из слюды, через которое в рабочий объем счетчика могут проникать α -частицы.

3 Порядок выполнения работы и требования к оформлению результатов

При подготовке к лабораторной работе необходимо изучить и законспектировать следующие библиографические источники:

- для неинженерных специальностей С.541-550 /1/, С. 481-488, 492 /2/;

- для инженерных специальностей С. 292-301 /3/, С. 631--636 /4/.

Задание 1 Проверка работы пересчетного прибора

3.1 Преподаватель или лаборант должен проверить наличие всех приборов и их работоспособность.

3.2 Включить сетевой шнур в розетку сети 220 В.

3.3 Нажать кнопку «сеть» и дать прибору прогреться в течение 2 – 3 минут.

3.4 Нажать кнопку «сброс», тем самым установить световые указатели декастронов на нуль.

3.5 Нажать и зафиксировать кнопку «~» и кнопку «Работа 50 Гц», тем самым пересчетный прибор ПП-16 переводится на прием сигналов (импульсов) от сети 220 В с частотой 50 Гц.

3.6 Нажать кнопку «пуск» одновременно с пуском секундомера.

3.7 Через 1 минуту нажать кнопку «стоп» и одновременно остановить секундомер.

3.8 Записать показания световых декастронов N и занести в таблицу 2.

3.9 Нажать кнопку «сброс».

3.10 Измерения повторить 5 раз.

3.11 Вычислить среднее арифметическое значение \bar{N} .

3.12 Вычислить относительную погрешность измерений

$$\varepsilon_{\bar{N}} = \frac{|3000 - \bar{N}|}{\bar{N}} \cdot 100\% . \quad (8)$$

При правильной работе прибора ПП-16 должно быть зарегистрировано 3000 импульсов в минуту, относительная погрешность $\varepsilon_{\bar{N}}$ не должна превышать 2%. Результаты измерений и расчетов записать в таблицу 1.

Таблица 1 Проверка работы пересчетного прибора

№ опыта	Обозначения физических величин		
	N , имп./мин	\bar{N} , имп./мин	$\varepsilon_{\bar{N}}$
1			
2			
3			
4			
5			

Задание 2 Определение радиоактивности фона

3.1 Отжать кнопки «Работа 50 Гц» и «~», тем самым газоразрядный счетчик подключается к пересчетному прибору ПП-16.

3.2 Нажать кнопку «пуск» и одновременно включить секундомер.

3.3 Произвести измерение импульсов в течение 3-х минут.

3.4 Нажать кнопку «стоп» и записать показания декастронов в таблицу 2.

3.5 Опыт проделать 5 раз.

3.6 Определить скорость счета импульсов $n_{\phi} = \frac{N}{t}$. Эта величина называется радиа-

ционным фоном или просто фоном. Фон обусловлен космической радиацией, радиоактивностью воздуха и предметов, окружающих счетчик.

Таблица 2 Определение радиоактивности фона

№ опыта	Обозначения физических величин				
	t , мин	N , имп	n_{ϕ} , имп/мин	\bar{n}_{ϕ} , имп/мин	$\Delta \bar{n}_{\phi}$
1					

2					
3					
4					
5					

3.7 Результаты записать в числовой форме

$$n_{\phi} = \bar{n}_{\phi} \pm \Delta \bar{n}_{\phi}.$$

3.8 Результаты измерений и расчетов записать в таблицу 2.

Задание 3 Определение активности радиоактивного источника

3.1 Положить радиоактивный препарат на подставку под счетчик.

3.2 Произвести измерение числа импульсов N с препаратом. Опыт повторить не менее 3-х раз. Время экспозиции брать 3-5 минут.

3.3 Определить скорость счета $n = \frac{N}{t}$ для каждого измерения, данные записать в таблицу 3. Определить среднее значение \bar{n} .

3.4 Найти $A = \bar{n} - \bar{n}_{\phi}$. Эту разность можно с некоторым приближением считать активностью всего радиоактивного препарата. Количество импульсов, зарегистрированных счетчиком считаем равным количеству распадов происходящих в радиоактивном источнике.

Единицу активности *расп/мин*, нужно перевести в систему СИ, т.е. в *расп/с*, которая называется *Бк* (Беккерель).

Таблица 3 Экспериментальные и расчетные данные по определению активности радиоактивного источника

№ опыта	Обозначения физических величин					
	t	N	$n = \frac{N}{t}$	n	$A = \bar{n} - n_{\phi}$	ΔA
1						
2						
3						
4						
5						

3.5 Результаты измерений и расчетов записать в таблицу 3.

3.6 Расчет погрешностей

Кроме случайных и систематических погрешностей, обусловленных несовершенством аппаратуры и метода измерений, в ядерной физике необходимо учитывать флуктуационный характер самой измеряемой величины. Процесс радиоактивного распада имеет статистический характер, т.е. каждую секунду распадается различное количество ядер, и можно говорить лишь о среднем количестве ядер, которые распадаются каждую секунду. Кроме того, процессы взаимодействия излучения с веществом, которые лежат в основе регистрации излучения, также имеют вероятностный характер.

Будем считать, что статистические ошибки преобладают над другими ошибками измерения. Поэтому необходимо правильно распределить время между отдельными измерениями, чтобы ошибка результатов была наименьшей.

При измерении активности источника $A = (\bar{n})_1 - (n_{\phi})_2$ длительности отдельных измерений должны относиться следующим образом

$$\frac{t_1}{t_\phi} = \frac{\sqrt{n_1}}{\sqrt{n_\phi}}. \quad (9)$$

Например, фон составляет $(\bar{n}_\phi)_2 \approx 60$ имп/мин, а $\bar{n}_1 = 1800$ имп/мин.

По соотношению (9) следует $t_1 \approx 5t_\phi$,

т.е. для измерения исследуемого эффекта следует затрачивать в 5 раз больше времени, чем на измерение фона.

Для оценки погрешности окончательного результата активности A следует рассчитать среднеквадратическую погрешность

$$S_A = \sqrt{S_{n1}^2 + S_{n\phi}^2}, \quad (10)$$

и относительную ошибку

$$\varepsilon_A = \frac{\sqrt{S_{n1}^2 + S_{n\phi}^2}}{\bar{n}_1 - \bar{n}_\phi}. \quad (11)$$

Если N – зарегистрированное число частиц за время t , а $n = \frac{N}{t}$ – среднее число частиц, зарегистрированных в единицу времени, то по правилам теории вероятностей среднеквадратическое отклонение для n определяется выражением

$$S_n^2 = \frac{S_N^2}{t^2} = \frac{nt}{t^2} = \frac{n}{t}. \quad (12)$$

Для величины $A = \bar{n}_1 - \bar{n}_\phi$ среднеквадратическая погрешность согласно (10) и (12):

$$S_A = \sqrt{\frac{n_1}{t_1} + \frac{n_\phi}{t_\phi}}. \quad (13)$$

Если окончательный результат A представить в доверительном интервале $\Delta A = \pm S_A$, то доверительная вероятность будет $P = 0,68$. Если взять доверительный интервал $\Delta A = \pm 2S_A$, то доверительная вероятность будет $P = 0,95$. Если взять доверительный интервал $\Delta A = \pm 3S_A$, то доверительная вероятность будет $P = 0,997$.

3.7 Окончательный результат представить в виде

$$A = (\bar{A} \pm \Delta A) \text{ Бк.}$$

4 Контрольные вопросы

- 4.1 Какие частицы образуют ядра атомов?
- 4.2 Что называется радиоактивностью? Назовите закон радиоактивного распада.
- 4.3 Как изменяются со временем активность изотопа?
- 4.4 Как происходит α - распад ядер?
- 4.5 Как происходит β - распад?
- 4.6 Как изменяется положение химического элемента в таблице Менделеева после α - распада и после β - распада?
- 4.7 Изменяется ли химическая природа элемента при испускании его ядром γ - кванта?
- 4.8 Каков принцип действия счетчика Гейгера- Мюллера?
- 4.9 В чем опасность радиоактивного излучения для живых организмов?
- 4.10 За счет чего создается радиоактивный фон?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Трофимова, Т. И. Курс физики [Текст] : учебное пособие для инженерно-технических спец. вузов / Т. И. Трофимова. - 19-е изд., стер. - Москва : Академия, 2012. - 558 с.
- 2 Оселедчик Ю.С. Физика. Модульный курс для технических вузов [Текст] : учебное пособие для бакалавров / Ю.С. Оселедчик, П.И. Самойленко, Т.Н. Точилина. –М.: Юрайт, 2013.-526 с.
- 3 Грабовский, Р. И. Курс физики [Текст] : учеб. пособие для студентов вузов / Р. И. Грабовский. - 12-е изд., стер. - Санкт-Петербург; Москва; Краснодар : Лань, 2012. - 607 с.
- 4 Трофимова, Т. И. Курс физики. Задачи и решения [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по техническим направлениям подготовки и специальностям / Т. И. Трофимова, А. В. Фирсов. - 5-е изд., стереотип. - Москва: Академия, 2012. - 591 с.
- 5 Трофимова, Т. И. Курс физики [Электронный ресурс] : учебное пособие / Т. И. Трофимова. – 21-е изд., стер. – Москва: Академия, 2015. – 560 с. – Режим доступа: <http://biblio.bsau.ru/metodic/48977.pdf>
- 6 Оселедчик, Ю. С. Физика. Модульный курс для технических вузов [Электронный ресурс] : учебное пособие для бакалавров / Ю. С. Оселедчик, П. И. Самойленко, Т. Н. Точилина. - М. : Юрайт, 2013. - 526 с. – Режим доступа: <http://biblio.bsau.ru/metodic/20910.pdf>

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица Коэффициенты Стьюдента $t_{p,n}$

Кол-во измерений	Доверительная вероятность P						
	0,9	0,95	0,98	0,99	0,995	0,997	0,999
1	6,3	12,7	31,8	63,7	127	350	636,6
2	2,9	4,3	7	9,9	14	22	31,6
3	2,4	3,2	4,5	5,8	7,4	9,3	12,9
4	2,1	2,8	3,7	4,6	5,6	6,8	8,6
5	2	2,6	3,4	4	4,7	5,8	6,9
6	1,9	2,4	3,1	3,7	4,3	5	6
7	1,9	2,4	3	3,5	4	4,6	5,4
8	1,9	2,3	2,9	3,4	3,8	4,3	5
9	1,8	2,3	2,8	3,3	3,7	4,2	4,8
10	1,8	2,2	2,7	3,2	3,6	3,6	4,6
15	1,7	2,1	2,5	2,9	3,3	3,4	4,1
20	1,7	2	2,5	2,8	3,2	3,3	3,8
30	1,7	2	2,5	2,7	3	3,2	3,6
40	1,7	2	2,4	2,7	3	3,2	3,5
60	1,6	2	2,4	2,7	2,9	3,2	3,4
100	1,6	1,98	2,4	2,62	2,85	3,1	3,37
∞	1,65	1,96	2,3	2,58	2,81	3	3,29