

Лабораторная работа 1

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

1. Прочесть в методичке «Лабораторный практикум» «Введение» и «Лабораторная работа 1»
2. Посмотреть видео
https://drive.google.com/file/d/1hqhSoE6zttwHkVsQV4y_O2Q0xtl_BsKo/view?usp=drive_link
3. Заполнить таблицу 1.1 из методички «Лабораторный практикум». Данные для заполнения этой таблицы: $d=3,78\pm0,01$ мм, $n=1,5\pm0,05$. Остальные результаты измерений выбрать из таблицы в соответствии со своим вариантом (номер варианта – последняя цифра номера зачетной книжки)

№ варианта	L, мм	R ₁ , мм	R ₂ , мм	R ₃ , мм	R ₈ , мм
0	300	6	12	14	26
1	320	13	17	20	30
2	340	20	23	25	35
3	360	27	28	30	40
4	380	38	40	42	50
5	390	44	46	48	55
6	400	52	54	55	62
7	420	60	62	63	70
8	440	68	70	72	78
9	460	70	72	73	80

4. По формуле (1.1) из методички «Лабораторный практикум» три раза вычислить длину волны, выбирая для каждого расчета пары колец таким образом, чтобы их номера отличались друг от друга на 5 ... 7 единиц (8-ое и 1-ое кольца, 8-ое и 2-ое, 8-ое и 3-е).
5. Вычислить среднее значение длины волны $\langle \lambda \rangle$ и её абсолютную погрешность $\Delta \lambda$ по формуле:

$$\Delta \lambda = \sqrt{\Delta \lambda_{ин}^2 + t_{\alpha,n}^2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^3 (\langle \lambda \rangle - \lambda_i)^2}{6}}$$

$$\Delta \lambda_{ин} = \langle \lambda \rangle \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta d_{ин}}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta n_{ин}}{n}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta L_{ин}}{L}\right)^2 + \frac{4(R_8^2 + R_2^2)\Delta R_{ин}^2}{(R_8^2 - R_2^2)^2}}$$

$$t_{\alpha,n} = 4,3$$

6. Вычислить относительную погрешность по формуле: $\varepsilon_{\lambda} = \frac{\Delta \lambda}{\langle \lambda \rangle} 100\%$
7. Записать ответ в стандартном виде:

$$\lambda = \langle \lambda \rangle \pm \Delta \lambda, \text{ м, с } \varepsilon_{\lambda} = \dots \% \text{ при } \alpha = 0,95$$

8. Сделать вывод (как правило, «вывод» должен отражать достижение цели и обсуждение результатов проведенных экспериментов).
9. Выполнить Отчет (см. «Введение»).

Лабораторная работа 2

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

1. Прочитать в методичке «Лабораторный практикум» «Лабораторная работа 2»
2. Посмотреть видео
https://drive.google.com/file/d/1CE26BILy1_II1i9v3nPcplF3lYiAnKCh/view?usp=drive_link
3. Заполнить таблицу 2.1 из методички «Лабораторный практикум». Данные для заполнения этой таблицы получите, перейдя по ссылке на странице курса «Лабораторная работа 2» (<https://efizika.ru/html5/04/index.html>). Установите цвет своего варианта. Проведите опыт не менее трёх раз, изменяя расстояние R до решетки (в методичке оно обозначено L). Для решетки принять $N=100 \text{ мм}^{-1}$.

№ вар.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
цвет	к	о	ж	з	г	с	ф	к	о	ж

4. По формуле (2.3) из методички «Лабораторный практикум» три раза вычислить длину волны.
5. Вычислить среднее значение длины волны $\langle \lambda \rangle$ и её абсолютную погрешность $\Delta \lambda$ по формуле:

$$\Delta \lambda = \sqrt{\Delta \lambda_{\text{ин}}^2 + t_{\alpha, n}^2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^3 (\langle \lambda \rangle - \lambda_i)^2}{6}}$$

$$\Delta \lambda_{\text{ин}} = \langle \lambda \rangle \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta(\Delta x_m)_{\text{ин}}}{\langle \Delta x_m \rangle} \right)^2 + \left(\frac{\Delta N_{\text{ин}}}{N} \right)^2 + \left(\frac{\Delta L_{\text{ин}}}{\langle L \rangle} \right)^2}$$

$$t_{\alpha, n} = 4,3$$

где $\langle \Delta x_m \rangle$ и $\langle L \rangle$ - средние значения величин, а $\Delta(\Delta x_m)_{\text{ин}} = \Delta L_{\text{ин}} = 1 \text{ мм}$, $\Delta N_{\text{ин}} = 1$.

6. Вычислить относительную погрешность по формуле: $\varepsilon_{\lambda} = \frac{\Delta \lambda}{\langle \lambda \rangle} 100\%$
7. Записать ответ в стандартном виде: $\lambda = \langle \lambda \rangle \pm \Delta \lambda$, м, с $\varepsilon_{\lambda} = \dots\%$ при $\alpha = 0,95$
8. Сделать вывод (как правило, «вывод» должен отражать достижение цели и обсуждение результатов проведенных экспериментов).

9. Выполнить Отчет.

$$\lambda = \langle \lambda \rangle \pm \Delta \lambda, \text{ м, с } \varepsilon_{\lambda} = \dots \% \text{ при } \alpha = 0,95$$

Лабораторная работа 3

ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

1. Прочсть в методичке «Лабораторная работа 3»
2. Посмотреть видео https://drive.google.com/file/d/1V_l6OcKo299ym-q4uQJpIajvN9PDGM9J/view?usp=drive_link
3. На странице курса запустить «Лабораторная работа 3» (<https://efizika.ru/html5/135/index.html>), произвести измерения и заполнить таблицу 3.1 (см. пункт 4) методички). В интерактивной модели вместо освещенности E (лк) измеряется сила фототока I (мкА).

4. Построить два графика (на одном поле). Первый – экспериментальная (измеренная) зависимость силы тока I (он пропорционален интенсивности света) от угла поворота поляроида, показать точками (линией не соединять!). Второй – теоретическая (вычисленный по закону Малюса формула 3.1) зависимость силв тока I от угла поворота поляроида, показать линией, проведенной по точкам (точки должны быть отмечены с точностью до 0,1). Принять I_0 равным максимальному экспериментальному значению I изтаблицы 3.1.

5. Вычислить коэффициент корреляции r (чем он ближе к единице, тем лучше совпадают графики) по формуле:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \langle x \rangle)(y_i - \langle y \rangle)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \langle x \rangle)^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \langle y \rangle)^2}} \quad \text{или} \quad r = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - N \langle x \rangle \langle y \rangle}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^N x_i^2 - N \langle x \rangle^2 \right) \left(\sum_{i=1}^N y_i^2 - N \langle y \rangle^2 \right)}},$$

где

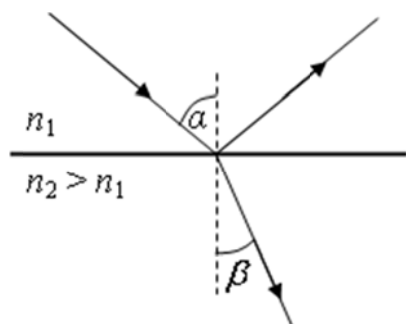
$$\langle x \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad \langle y \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i.$$

где x – теоретические значения, y – соответствующие экспериментальные значения.

6. Сделать вывод (как правило, «вывод» должен отражать достижение цели и обсуждение результатов проведенных экспериментов).

7. Выполнить Отчет.

Лабораторная работа 4 ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА



закон преломления: луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный в точку падения, лежат в одной плоскости, и

$$1. \quad n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (4.1)$$

1. На странице курса запустить «Лабораторная работа 4» (<https://efizika.ru/html5/150/index.html>), произвести измерения для материала согласно своему варианту (не менее 3-х раз)

№ вар.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
цвет	стекло	алмаз	вода	кварц	рубин	стекло	алмаз	вода	кварц	рубин

и заполнить таблицу:

X, ед. изм.	$\Delta X_{ин}$	Результаты измерений X_i		
α°				
β°				

2. По формуле (4.1) вычислить три раза показатель преломления, его среднее значение, абсолютную и относительную погрешности по формулам:

$$\Delta n = \sqrt{\Delta n_{ин}^2 + t_{\alpha,n}^2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^3 (\langle n \rangle - n_i)^2}{6}}$$

$$\Delta n_{ин} = \langle n \rangle \cdot \sqrt{\left(\frac{\cos \langle \alpha \rangle \Delta \alpha_{ин} (рад)}{\sin \langle \beta \rangle} \right)^2 + \left(\frac{\sin \langle \alpha \rangle \Delta \beta_{ин} (рад)}{\cos^2 \langle \beta \rangle} \right)^2}$$

$$t_{\alpha,n} = 4,3$$

$$\varepsilon_\beta = \frac{\Delta n}{\langle n \rangle} \cdot 100\%$$

- Записать ответ в стандартном виде: $n = \langle n \rangle \pm \Delta n$, с $\varepsilon_n = \dots\%$ при $\alpha = 0,95$
- Сделать вывод (сравнить полученный результат с табличным значением).
- Выполнить Отчет.

Лабораторная работа 5 ОПТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ АТОМОВ

- Прочсть в методичке «Лабораторный практикум» «Лабораторная работа 6»

2. На странице курса запустить «Лабораторная работа 5» (<https://efizika.ru/html5/171/index.html>)
3. Выбрать спектр «Ртуть».
4. В методичке в «Упражнение 1 Градуировка монохроматора» на странице модели выполнить пункты 4), 5) (вращение барабана указателем мышки нажатием кнопок «+» и «-» на шкале в верхней части модели) и пункт 7).
5. Выбрать спектр «Водород» на странице модели.
6. В методичке в «Упражнение 2 Определение постоянной Ридберга» на странице модели выполнить пункты 2), 3), 4), 5), 6).
7. Вычислить среднее значение, абсолютную и относительную погрешности постоянной Ридберга по формулам:

$$\Delta R = \sqrt{\Delta R_{ин}^2 + t_{\alpha,n}^2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^4 (\langle R \rangle - R_i)^2}{12}}$$

$$\Delta R_{ин} = \langle R \rangle \frac{\Delta \lambda_{ин}}{\langle \lambda \rangle}$$

$$t_{\alpha,n} = 3,2$$

$$\varepsilon_R = \frac{\Delta R}{\langle R \rangle} \cdot 100\%$$

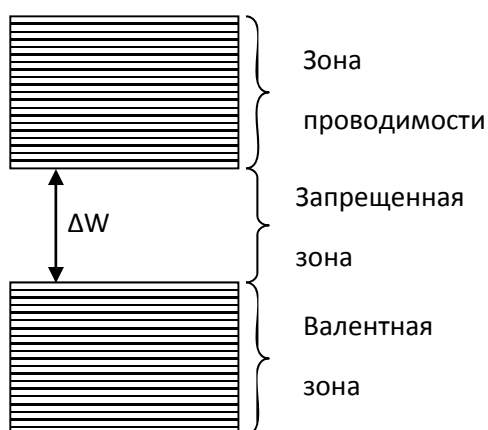
где $\Delta \lambda_{ин}$ равна цене деления по горизонтальной оси градуировочного графика.

8. Записать ответ в стандартном виде: $R = \langle R \rangle \pm \Delta R, м^{-1}$ с $\varepsilon_R = \dots\%$ при $\alpha = 0,95$
9. Сделать вывод (сравнить полученный результат с табличным значением).
10. Выполнить Отчет.

Лабораторная работа 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

По мере сближения атомов до расстояний порядка постоянной кристаллической решетки взаимодействие между атомами приводит к тому, что энергетические уровни электронов смещаются и расщепляются, образуя энергетический спектр кристалла, в котором определенные зоны (рис.



можно выделить 5.1).

Рис. 6.1

Образование энергетического спектра – квантово-механический эффект.

Валентная зона отделена от вышележащей зоны проводимости запрещенной зоной, которая не содержит разрешенных энергетических уровней. На каждом энергетическом уровне, в соответствии с принципом Паули, может разместиться не более двух электронов с антипараллельными спинами.

По характеру заполнения зон при $T = 0 \text{ К}$ все кристаллы можно разделить на две большие группы.

К первой группе относятся кристаллы, у которых над целиком заполненными зонами располагается частично заполненная валентная зона. Такая зона возникает в том случае, когда энергетический уровень, из которого она образуется, заполнен в атоме не полностью. Частично заполненная зона может образовываться также и вследствие наложения заполненных зон на пустые или частично заполненные зоны. Кристаллы первой группы являются проводниками.

Ко второй группе относятся кристаллы, у которых над полностью заполненной валентной зоной располагается пустая зона проводимости, отделенная от валентной зоны запрещенной зоной ширины ΔW . Типичным примером таких кристаллов являются химические элементы IV группы таблицы Менделеева.

По ширине запрещенной зоны ΔW кристаллы второй группы условно делят на диэлектрики и полупроводники.

К диэлектрикам относятся кристаллы, имеющие относительно широкую запрещенную зону. У типичных диэлектриков $\Delta W > 3 \text{ эВ}$. Так, у нитрида бора $\Delta W = 4,6 \text{ эВ}$; у алмаза $\Delta W = 5,2 \text{ эВ}$; у Al_2O_3 $\Delta W = 7 \text{ эВ}$ и т.д.

К полупроводникам относятся кристаллы, имеющие сравнительно узкую запрещенную зону. У типичных полупроводников $\Delta W \leq 1 \text{ эВ}$. Так, у германия $\Delta W = 0,66 \text{ эВ}$; у кремния $\Delta W = 1,08 \text{ эВ}$ и т.д.

Общим свойством всех полупроводников является сильная зависимость их проводимости от внешних воздействий: нагревания, облучения светом, бомбардировки различными частицами и т. д.

В результате внешнего воздействия часть электронов из валентной зоны переходит в зону проводимости. В покинутом электроном месте возникает дырка (оборванная связь, вакантное место, заряженное положительно), заполнить которую могут только электроны с ближайшего энергетического уровня. В результате электрон в зоне проводимости и дырка в валентной зоне могут перемещаться по кристаллу. Движение электронов и дырок в отсутствие внешнего электрического поля является хаотическим. Если же кристалл поместить во внешнее электрическое поле, то электроны начнут двигаться против поля, а дырки

– по полю. Такое движение приводит к возникновению собственной проводимости, обусловленной как электронами, так и дырками (электронно-дырочная проводимость). Следует также заметить, что такое движение связано с туннельным переходом электронов и дырок от атома к атому.

Удельное сопротивление ρ полупроводника – величина обратная его удельной электропроводности или проводимости σ :

$$\rho = \frac{1}{\sigma}. \quad (6.1)$$

Различают собственную и примесную электропроводность полупроводника.

В собственном полупроводнике носителями тока являются электроны и дырки, поэтому выражение для удельной электропроводности собственного полупроводника можно представить в виде двух слагаемых:

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_p = e \cdot n \cdot u_n + e \cdot p \cdot u_p, \quad (6.2)$$

где n , p – концентрация электронов и дырок, соответственно; e – элементарный заряд; u_n , u_p – подвижность электронов и дырок, представляющая собой отношение скорости дрейфа упорядоченного движения носителей тока к напряженности электрического поля, вызвавшего это движение. В области высоких температур (выше характеристической температуры Дебая)

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \exp\left(-\frac{\Delta W}{2kT}\right), \quad (6.3)$$

где ΔW – энергия активации (ширина запрещенной зоны) собственного полупроводника, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

С учетом того, что сопротивление полупроводника $R \sim \rho$ выражение 6.1 с учетом 6.3 примет вид:

$$R = R_0 \cdot \exp\left(\frac{\Delta W}{2kT}\right). \quad (5.4)$$

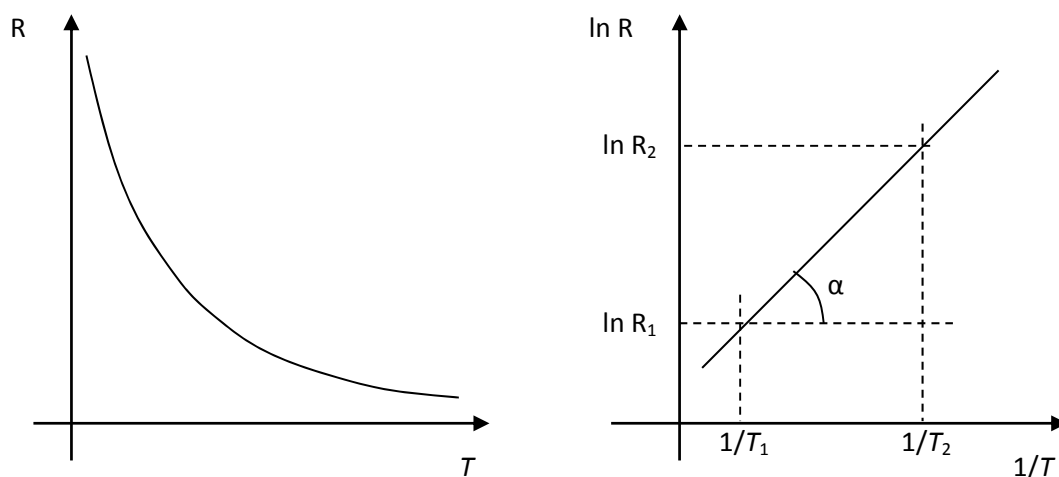


Рис. 6.2. Зависимость сопротивления собственных полупроводников от температуры.

На рис. 6.2 показаны качественные графические зависимости $R = f(T)$ и $\ln R = f(1/T)$ для полупроводника.

Порядок выполнения работы

1. На странице курса запустить «Лабораторная работа 6»

(<https://efizika.ru/html5/110/index.html>).

2. Выбрать материал согласно своему варианту

№ вар.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
металл	германий	теллур	селен	кремний	сурьма	германий	теллур	селен	кремний	сурьма

3. Установить начальные параметры установки $V = 1$ л, $t_0 = 20^\circ\text{C}$,

4. Мышкой взять образец (в правом нижнем углу) и установить его на весы рядом левее (необходимо для запуска модели в дальнейшем).

5. Поместить образец в чашку левее.

6. Записать сопротивление R_0 при температуре t_0 .

7. Нажмите «Пуск», нагрейте на 10° и остановите кнопкой «Пауза».

Запишите в заранее подготовленную таблицу 6.1 температуру t_i и сопротивление R_i

Таблица 6.1

$t^\circ\text{C}$	20								
T.K	293								
R, Ом									

8. Пункт 7 повторить многократно до 100°C .

9. По результатам измерений построить график $R = f(T)$.

10. Рассчитать не менее 3-х раз ширину запрещенной зоны в эВ по формуле:

$$\Delta W = \frac{2k_B}{1,6 \cdot 10^{-19}} \left(\frac{\ln R_2 - \ln R_1}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}} \right)$$

где k_B - постоянная Больцмана. Пары значений R_2 , R_1 и T_2 , T_1 рекомендуем взять 20° и 100° , 30° и 90° , 40° и 80° .

11. Вычислить среднее значение, абсолютную и относительную погрешности ширины запрещенной зоны по формулам:

$$\Delta(\Delta W) = t_{\alpha,n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (\langle \Delta W \rangle - \Delta W_i)^2}{6}}$$

$$t_{\alpha,n} = 4,3$$

$$\varepsilon_{\beta} = \frac{\Delta(\Delta W)}{\langle \Delta W \rangle} \cdot 100\%$$

12. Записать ответ в стандартном виде:

$$\Delta W = \langle \Delta W \rangle \pm \Delta(\Delta W), \text{ эВ, с } \varepsilon_{\Delta W} = \dots\% \text{ при } \alpha = 0,95$$

13. Сделать вывод (сравнить полученный результат с табличным значением).

14. Выполнить Отчет.

Лабораторная работа 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Электропроводность чистых металлов обусловлена дрейфом электронов.

Поэтому

$$\sigma = e \cdot n \cdot u. \quad (7.1)$$

Электронный газ в металлах находится в вырожденном состоянии (тепловому воздействию подвержены менее 1% электронов), поэтому их концентрация практически не зависит от температуры, а электропроводность чистых металлов полностью определяется температурной зависимостью подвижности электронов вырожденного электронного газа.

В области высоких температур (выше характеристической температуры Дебая) подвижность носителей u обратно пропорциональна температуре.

В данном случае основной механизм сопротивления чистого металла заключается в рассеянии электронов на тепловых колебаниях решетки (фононах). В этой области температур сопротивление большинства проводников практически линейно зависит от температуры:

$$R = R_0(1 + at), \quad (7.2)$$

где a – температурный коэффициент сопротивления (табличная величина), а t – температура проводника, измеренная в градусах Цельсия.

В области низких температур (ниже характеристической температуры Дебая), энергия тепловых колебаний решетки имеет иную температурную зависимость, поэтому температурная зависимость подвижности $u \sim T^{-5}$. В области температур, близких к абсолютному нулю, большинство металлов переходят в сверхпроводящее состояние

Порядок выполнения работы

1. На странице курса запустить «Лабораторная работа 7» (<https://efizika.ru/html5/109/index.html>)..
2. Установить начальные параметры установки в соответствии со своим вариантом (номер варианта – последняя цифра номера зачетной книжки)
 $t_0 = 20^\circ\text{C}$, $V = 1$ л.

№ вар.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
металл	медь	алюминий	вольфрам	латунь	серебро	медь	алюминий	вольфрам	латунь	серебро

3. Мышкой взять образец (в правом нижнем углу) и установить его на весы рядом левее (необходимо для запуска модели в дальнейшем).
4. Поместить образец в чашку левее.
5. Записать сопротивление R_0 при температуре t_0 .
6. Нажмите «Пуск», нагрейте на 10° и остановите кнопкой «Пауза».
 Запишите в заранее подготовленную таблицу 7.1 температуру t_i и сопротивление R_i

Таблица 6.1

$t^\circ\text{C}$	20								
$R, \text{Ом}$									

7. Пункт 7 повторить многократно до 100°C .
8. По результатам измерений построить график $R = f(t)$.
9. Рассчитать не менее 3-х раз температурный коэффициент сопротивления α по формуле:

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)}$$

Пары значений R_2 , R_1 и t_2 , t_1 рекомендуем взять 20° и 100° , 30° и 90° , 40° и 80° .

10. Вычислить среднее значение, абсолютную и относительную погрешности α по формулам:

$$\Delta\alpha = t_{\alpha,n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (\langle\alpha\rangle - \alpha_i)^2}{6}}$$

$$t_{\alpha,n} = 4,3$$

$$\varepsilon_\beta = \frac{\Delta\alpha}{\langle\alpha\rangle} \cdot 100\%$$

11. Записать ответ в стандартном виде: $\alpha = \langle \alpha \rangle \pm \Delta \alpha, K^{-1}$, с $\varepsilon_{\alpha} = \dots\%$

12. Сделать вывод (сравнить полученный результат с табличным значением).

13. Выполнить Отчет.