

Олимпиада «Физтех».

2026 год, профиль «научно-технический».

Решения экспериментального тура.

Измеряем лупу. 9 класс.

I. Теория

1. Определение фокусного расстояния.

По условию для линзы справедлива формула

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b},$$

где a — расстояние от предмета до линзы, b — расстояние от линзы до изображения.

Перепишем её в виде

$$\frac{1}{b} = -\frac{1}{a} + \frac{1}{f}.$$

Следовательно, зависимость $\frac{1}{b}$ от $\frac{1}{a}$ является линейной:

$$\boxed{y = -x + \frac{1}{f}, \quad y = \frac{1}{b}, \quad x = \frac{1}{a}.}$$

Таким образом, при построении графика зависимости $\frac{1}{b}$ от $\frac{1}{a}$ точка пересечения прямой с осью ординат определяет величину $\frac{1}{f}$, то есть оптическую силу линзы.

2. Радиус кривизны.

Если изображение совпадает с предметом, то есть $a = b$, предмет находится в центре кривизны отражающей поверхности. В этом случае

$$\boxed{R = 2a.}$$

Замечание (более общий метод).

При отражении света от второй поверхности линзы лучи дважды проходят через линзу и один раз отражаются от сферической поверхности. В этом случае можно рассматривать систему как комбинацию двух линз и зеркала, расположенных вплотную друг к другу.

Тогда оптическая сила системы равна

$$D_{\text{сист}} = 2D_{\text{линзы}} + D_{\text{зерк}}.$$

Так как

$$D_{\text{линзы}} = \frac{1}{f}, \quad D_{\text{зерк}} = \frac{2}{R},$$

получаем

$$D_{\text{сист}} = \frac{2}{f} + \frac{2}{R}.$$

Этот подход также позволяет определить радиус кривизны по результатам графической обработки данных.

3. Показатель преломления.

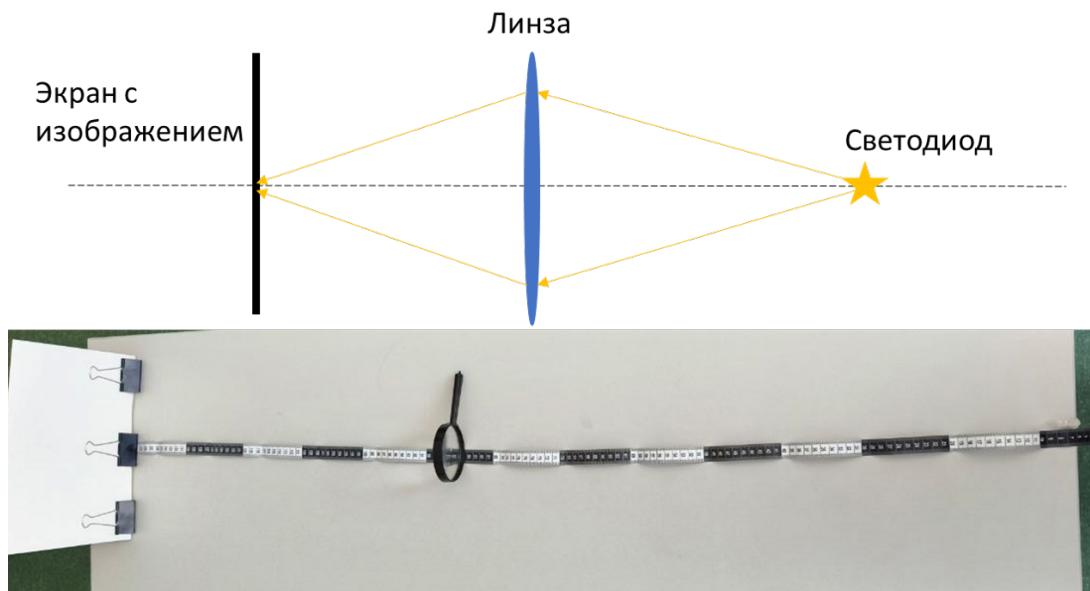
Для симметричной двояковыпуклой линзы:

$$n = 1 + \frac{R}{2f}.$$

II. Эксперимент

1) Определение фокусного расстояния.

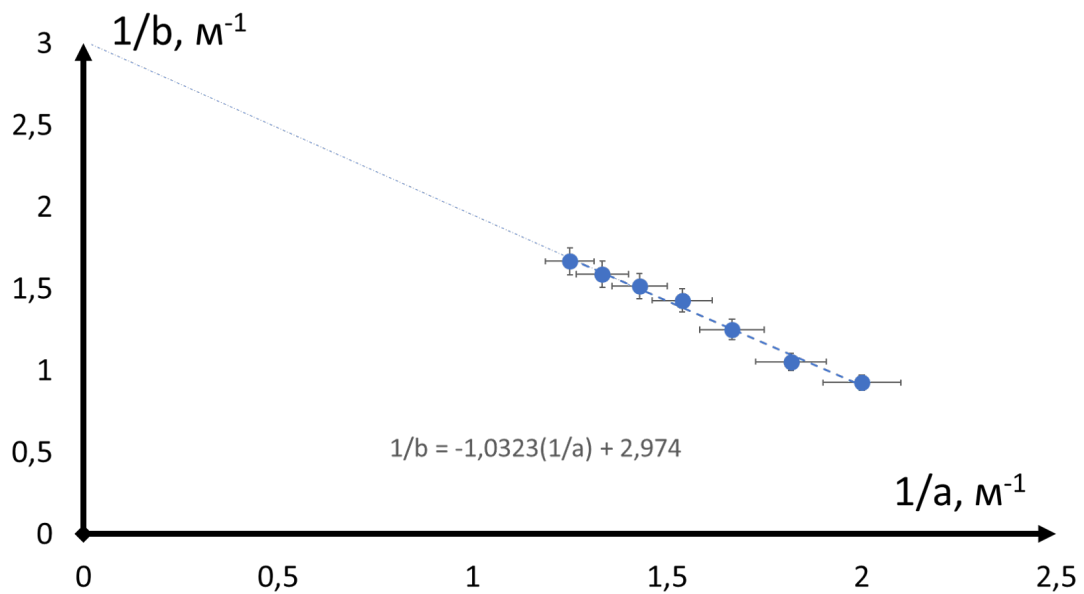
Соберём установку для получения действительного изображения светодиода с помощью линзы на экране.



Для нескольких положений линзы измерим расстояния a и b . Результаты сведём в таблицу:

№	a , см	b , см	$\frac{1}{a}$, м ⁻¹	$\frac{1}{b}$, м ⁻¹
1	50	108	2.00	0.93
2	55	95	1.82	1.05
3	60	80	1.67	1.25
4	65	70	1.54	1.43
5	70	66	1.43	1.52
6	75	63	1.33	1.59
7	80	60	1.25	1.67

Построим график зависимости $\frac{1}{b}$ от $\frac{1}{a}$.



По графику получаем оптическую силу линзы:

$$D \approx 3 \text{ дптр}$$

Следовательно,

$$f \approx 34 \text{ см}$$

2) Определение радиуса кривизны.

Рассмотрим отражение от поверхности линзы. Экспериментально найдено положение, при котором изображение совпадает с предметом:

$$a = b \approx 19 \text{ см.}$$

Тогда радиус кривизны поверхности равен

$$R \approx 2a \approx 38 \text{ см.}$$

3) **Определение показателя преломления.**

Используем формулу

$$n = 1 + \frac{R}{2f}.$$

Подставляя найденные значения, получаем

$$n = 1 + \frac{38}{2 \cdot 34} \approx 1.56.$$

Следовательно,

$$\boxed{n \approx 1.56}$$

4) **Ответ.**

В результате эксперимента получено:

$$\boxed{f \approx 34 \text{ см}}$$

$$\boxed{R \approx 38 \text{ см}}$$

$$\boxed{n \approx 1.56}$$

Полученные значения хорошо согласуются с параметрами симметричной стеклянной двояковыпуклой линзы.

Разделим второе уравнение на первое:

$$\frac{1}{\cos \alpha} = \frac{4\pi^2 L}{gT^2}.$$

Отсюда:

$$T^2 = \frac{4\pi^2 L \cos \alpha}{g}.$$

При фиксированной длине нити:

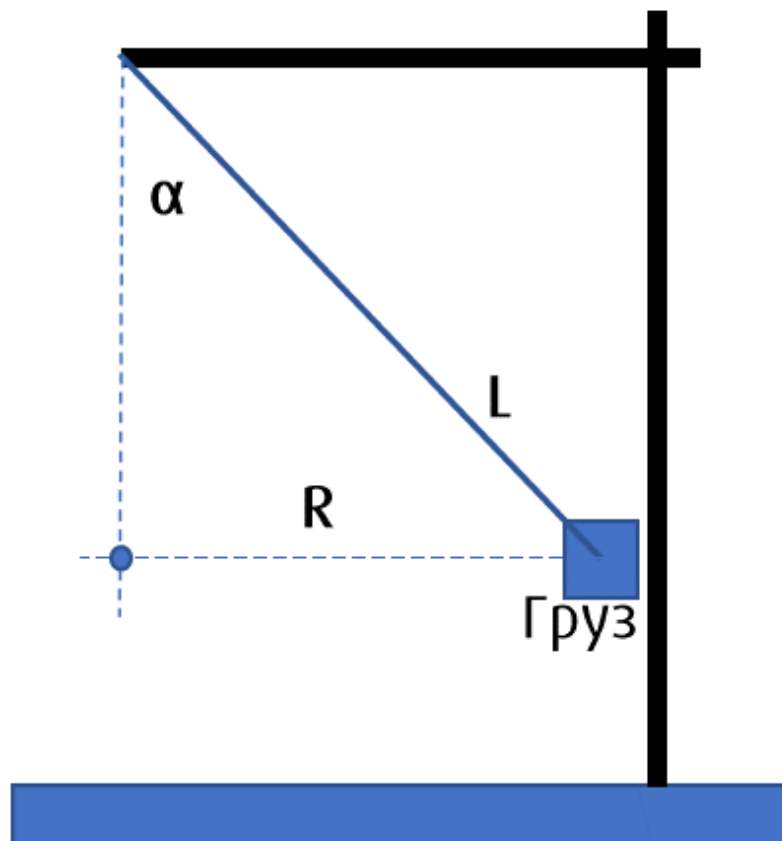
$$T^2 \propto \cos \alpha.$$

Следовательно, удобно строить график:

$$T^2(\cos \alpha).$$

II. Эксперимент

1) Схема установки.



2) Измерения при фиксированной длине нити.

Фиксируем длину нити:

$$L = 35 \text{ см.}$$

Для каждого положения измеряется **время** t_{10} **десяти оборотов.**

Период:

$$T = \frac{t_{10}}{10}.$$

Результаты:

№	R , см	α , °	$\cos \alpha$	t_{10} , с	T , с
1	6.1	10	0.985	11.79	1.179
2	9.1	15	0.966	11.66	1.166
3	12.0	20	0.940	11.50	1.150
4	14.8	25	0.906	11.30	1.130
5	17.5	30	0.866	11.04	1.104
6	20.1	35	0.819	10.74	1.074

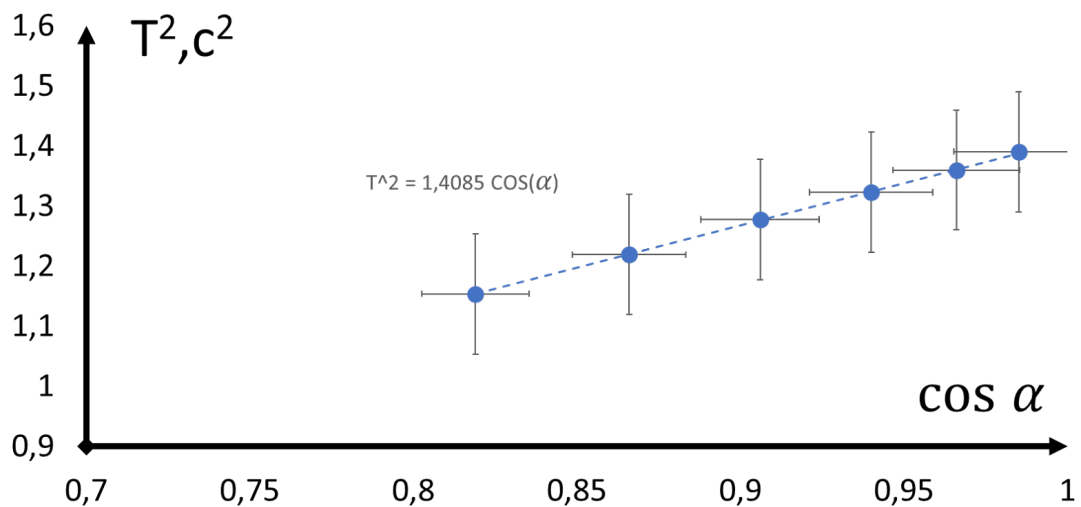
Вычисляем:

$$T^2 = 1.390, 1.359, 1.323, 1.277, 1.219, 1.153 \text{ с}^2.$$

3) График и определение g .

Строим график:

$$T^2(\cos \alpha).$$



Точки лежат на прямой. По графику:

$$k \approx 1.41 \text{ с}^2.$$

Тогда:

$$g = \frac{4\pi^2 L}{k} = \frac{4\pi^2 \cdot 0.35}{1.41} \approx 9.8 \text{ м/с}^2.$$

$$g \approx 9.8 \text{ м/с}^2.$$

4) Вывод.

Получена линейная зависимость:

$$T^2 \propto \cos \alpha.$$

Эксперимент подтверждает модель конического маятника.

Полученное значение:

$$g \approx 9.8 \text{ м/с}^2$$

совпадает с табличным.

Олимпиада «Физтех».
2026 год, профиль «научно-технический».
Решения экспериментального тура.

Мощность лампочки. 10 класс.

I. Теория

Предположим, что сопротивление нити лампы линейно зависит от её температуры:

$$R = aT,$$

где a — некоторый коэффициент пропорциональности.

Электрическая мощность, выделяемая на лампе, равна

$$P = UI = I^2R.$$

С другой стороны, по закону Стефана–Больцмана мощность излучения нагретой нити равна

$$P = \sigma ST^4,$$

где σ — постоянная Стефана–Больцмана, S — площадь поверхности нити, T — её температура.

В модели задачи считаем, что выделяющаяся электрическая мощность определяется этим законом:

$$I^2R = \sigma ST^4.$$

Подставляя $R = aT$, получаем:

$$I^2aT = \sigma ST^4.$$

Отсюда

$$aI^2 = \sigma ST^3,$$

$$T^3 = \frac{a}{\sigma S} I^2,$$

$$T = \left(\frac{a}{\sigma S} \right)^{1/3} I^{2/3}.$$

Теперь найдём зависимость мощности от силы тока:

$$P = \sigma ST^4.$$

Подставляя найденное выражение для температуры, имеем:

$$P = \sigma S \left[\left(\frac{a}{\sigma S} \right)^{1/3} I^{2/3} \right]^4.$$

После упрощения:

$$P = \sigma S \left(\frac{a}{\sigma S} \right)^{4/3} I^{8/3} = \left(\frac{a^4}{\sigma S} \right)^{1/3} I^{8/3}.$$

Следовательно,

$$P = kI^\alpha,$$

где

$$\alpha = \frac{8}{3},$$

$$k = \left(\frac{a^4}{\sigma S} \right)^{1/3}.$$

Таким образом, теоретически ожидается степенная зависимость мощности от силы тока с показателем

$$\alpha_{\text{теор}} = \frac{8}{3} \approx 2.67.$$

Линеаризация.

Для экспериментальной проверки удобно прологарифмировать выражение

$$P = kI^\alpha.$$

Тогда

$$\ln P = \ln k + \alpha \ln I.$$

Следовательно, если построить график зависимости $\ln P$ от $\ln I$, получится прямая.

То есть:

$$\alpha_{\text{эксп}} = \text{угловой коэффициент прямой},$$

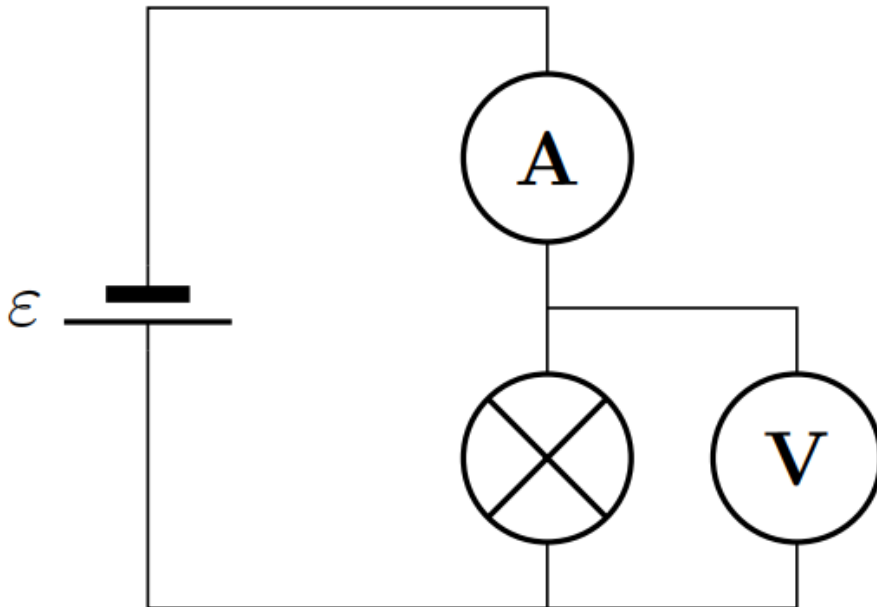
$$k_{\text{эксп}} = e^b,$$

где b — свободный член линейной функции.

II. Эксперимент

1) Сборка установки.

Собираем электрическую цепь с лампой, амперметром и вольтметром. Амперметр включается последовательно с лампой, вольтметр — параллельно лампе.



Важно: нельзя включать мультиметр в режиме амперметра напрямую на источник питания без нагрузки.

2) Снятие экспериментальных данных.

Проводим серию измерений силы тока I и напряжения U при различных режимах работы лампы. Для каждого измерения вычисляем мощность:

$$P = UI.$$

Результаты измерений и вычислений приведены в таблице:

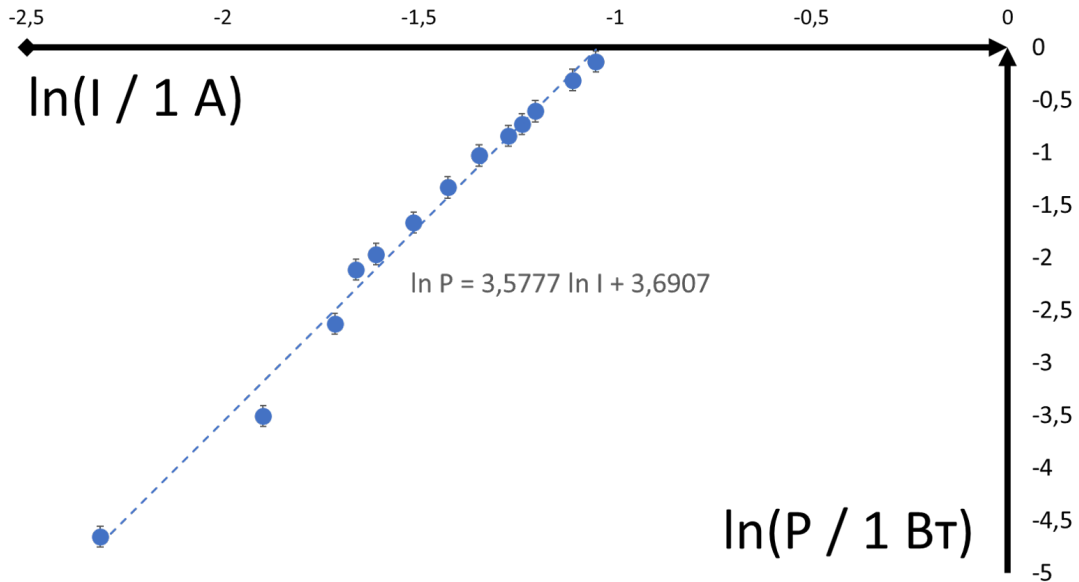
№	U , В	I , А	$P = UI$, Вт	$\ln I$	$\ln P$
1	0.096	0.09	0.00864	-2.408	-4.751
2	0.200	0.15	0.03000	-1.897	-3.507
3	0.400	0.18	0.07200	-1.715	-2.631
4	0.635	0.19	0.12065	-1.661	-2.115
5	0.700	0.20	0.14000	-1.609	-1.966
6	0.860	0.22	0.18920	-1.514	-1.665
7	1.100	0.24	0.26400	-1.427	-1.332
8	1.375	0.26	0.35750	-1.347	-1.029
9	1.543	0.28	0.43204	-1.273	-0.839
10	1.664	0.29	0.48256	-1.238	-0.729
11	1.818	0.30	0.54540	-1.204	-0.606
12	2.220	0.33	0.73260	-1.109	-0.311
13	2.500	0.35	0.87500	-1.050	-0.134

3) Построение графика и линеаризация.

Строим график зависимости $\ln P$ от $\ln I$. Если модель

$$P = kI^\alpha$$

выполняется, то экспериментальные точки должны лежать примерно на прямой.



Первые точки при малых токах отклоняются от общей линейной зависимости заметно сильнее. Поэтому линейную аппроксимацию проводим по основному линейному участку графика (точки 4–13).

По экспериментальным точкам получаем линейную аппроксимацию:

$$\ln P = \alpha_{\text{эксп}} \ln I + b.$$

Тогда

$$\alpha_{\text{эксп}} \approx 3.29$$

$$b \approx 3.34$$

и

$$k_{\text{эксп}} = e^b \approx 28.2.$$

4) Сравнение с теорией.

Теоретически получено:

$$\alpha_{\text{теор}} = \frac{8}{3} \approx 2.67.$$

Экспериментально получено:

$$\alpha_{\text{эксп}} \approx 3.29.$$

Относительное расхождение:

$$\varepsilon = \frac{|\alpha_{\text{эксп}} - \alpha_{\text{теор}}|}{\alpha_{\text{теор}}} \cdot 100\% \approx 23\%.$$

5) Вывод.

В эксперименте исследована зависимость мощности лампы накаливания от силы тока. После линеаризации получена степенная зависимость

$$P \propto I^{\alpha_{\text{эксп}}},$$

где

$$\alpha_{\text{эксп}} \approx 3.29.$$

Полученное значение превышает теоретическое значение

$$\alpha_{\text{теор}} = \frac{8}{3}.$$

Это может быть связано с тем, что в реальной лампе:

- сопротивление нити зависит от температуры не строго линейно;
- тепловые потери определяются не только излучением;
- при малых токах и малых температурах модель работает хуже.

Следовательно, экспериментальные данные качественно подтверждают степенной характер зависимости мощности от силы тока, однако количественно наблюдается заметное отклонение от упрощённой теоретической модели.

Олимпиада «Физтех».
2026 год, профиль «научно-технический».
Решения экспериментального тура.

Измеряем лупу. 10 класс.

I. Теория

1. Связь между расстояниями a , b и фокусным расстоянием f .

Рассмотрим предмет, расположенный на расстоянии a от тонкой собирающей линзы, и его действительное изображение на расстоянии b от линзы. Используя стандартное построение лучей для собирающей линзы, получаем формулу тонкой линзы:

$$\boxed{\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}.}$$

Отсюда

$$\frac{1}{b} = -\frac{1}{a} + \frac{1}{f}.$$

Следовательно, зависимость $\frac{1}{b}$ от $\frac{1}{a}$ является линейной:

$$\boxed{y = -x + \frac{1}{f}, \quad y = \frac{1}{b}, \quad x = \frac{1}{a}.}$$

Таким образом, если построить график зависимости $\frac{1}{b}$ от $\frac{1}{a}$, экспериментальные точки должны лежать вблизи прямой с угловым коэффициентом -1 , а точка пересечения с любой из осей даст величину

$$\frac{1}{f}.$$

Следовательно,

$$\boxed{f = \frac{1}{D},}$$

где D — оптическая сила линзы.

2. Оптическая сила системы при отражении от второй поверхности линзы.

Для определения радиуса кривизны используем отражение света от второй поверхности линзы. В этом случае лучи:

- один раз проходят через линзу,
- отражаются от второй поверхности,
- ещё раз проходят через линзу.

По условию задачи оптические силы элементов, расположенных вплотную друг к другу, складываются. Тогда оптическая сила всей системы равна

$$D_{\text{сист}} = D_{\text{линзы}} + D_{\text{зерк}} + D_{\text{линзы}} = 2D_{\text{линзы}} + D_{\text{зерк}}.$$

Для линзы:

$$D_{\text{линзы}} = \frac{1}{f}.$$

Для сферического зеркала:

$$f_{\text{зерк}} = \frac{R}{2}, \quad D_{\text{зерк}} = \frac{1}{f_{\text{зерк}}} = \frac{2}{R}.$$

Следовательно,

$$D_{\text{сист}} = \frac{2}{f} + \frac{2}{R}.$$

Отсюда

$$R = \frac{2}{D_{\text{сист}} - \frac{2}{f}}.$$

3. Показатель преломления материала линзы.

Для симметричной двояковыпуклой линзы

$$R_1 = R_2 = R,$$

поэтому формула изготовителя линзы принимает вид

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R} \right) = \frac{2(n - 1)}{R}.$$

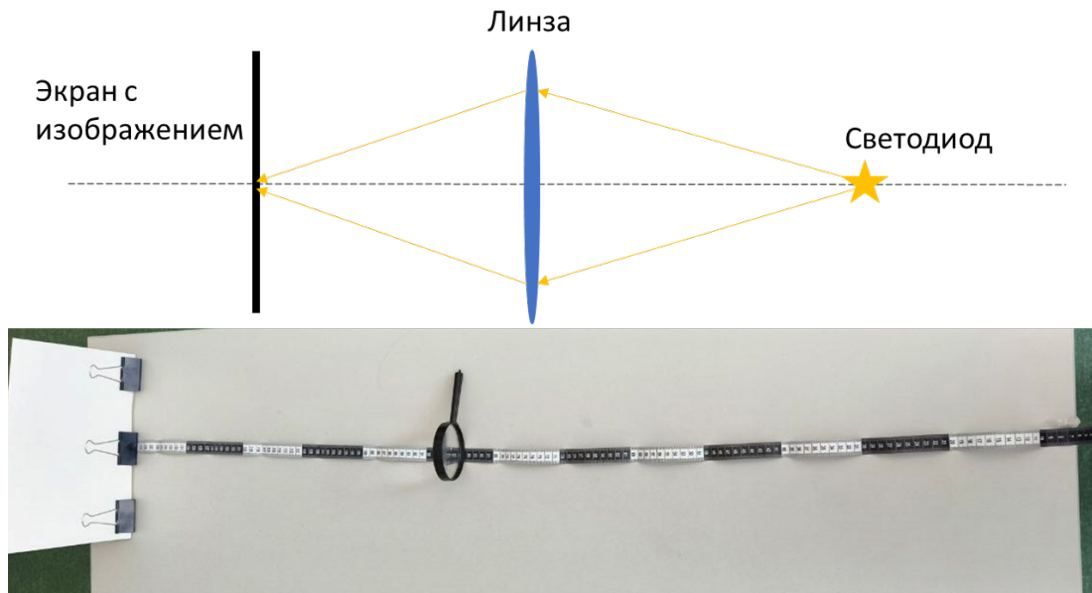
Отсюда

$$n = 1 + \frac{R}{2f}.$$

II. Эксперимент

1) Определение фокусного расстояния.

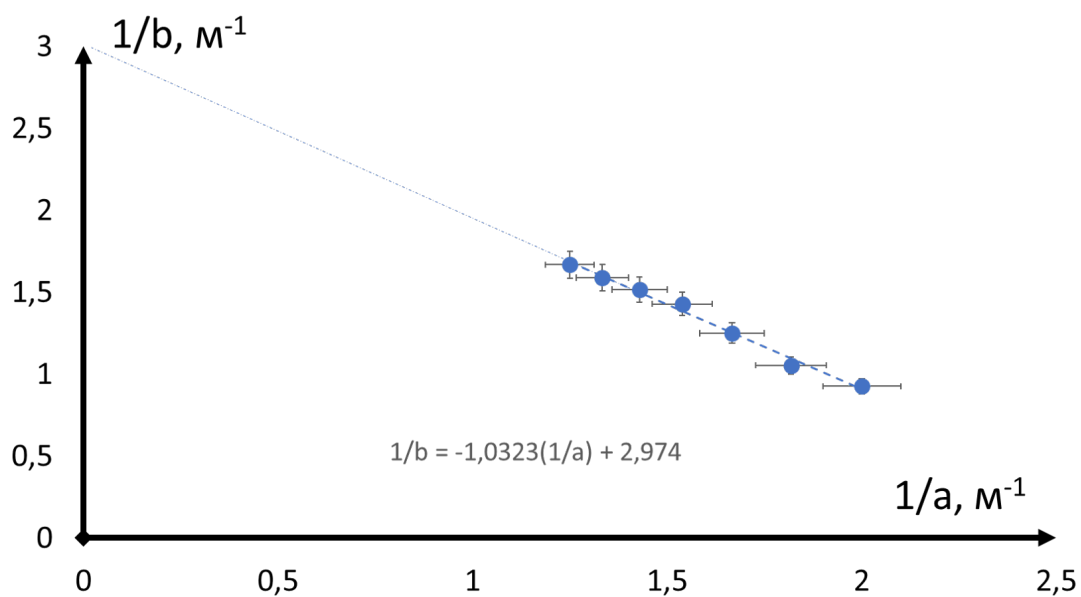
Соберём установку для получения действительного изображения светодиода с помощью лупы на экране.



Для нескольких положений линзы измерим расстояния a и b . Результаты сведём в таблицу:

№	a , см	b , см	$\frac{1}{a}$, м ⁻¹	$\frac{1}{b}$, м ⁻¹
1	50	108	2.00	0.93
2	55	95	1.82	1.05
3	60	80	1.67	1.25
4	65	70	1.54	1.43
5	70	66	1.43	1.52
6	75	63	1.33	1.59
7	80	60	1.25	1.67

Построим график зависимости $\frac{1}{b}$ от $\frac{1}{a}$.



По графику получаем оптическую силу линзы:

$$D \approx 3 \text{ дптр}$$

Следовательно,

$$f \approx 34 \text{ см}$$

2) Определение радиуса кривизны.

Рассмотрим отражение от поверхности линзы. Экспериментально найдено положение, при котором изображение совпадает с предметом:

$$a = b \approx 19 \text{ см.}$$

Тогда радиус кривизны поверхности равен

$$R \approx 2a \approx 38 \text{ см.}$$

3) Определение показателя преломления.

Используем формулу

$$n = 1 + \frac{R}{2f}.$$

Подставляя найденные значения, получаем

$$n = 1 + \frac{38}{2 \cdot 34} \approx 1.56.$$

Следовательно,

$$n \approx 1.56$$

4) Ответ.

В результате эксперимента получено:

$$f \approx 34 \text{ см}$$

$$R \approx 38 \text{ см}$$

$$n \approx 1.56$$

Полученные значения хорошо согласуются с параметрами симметричной стеклянной двояковыпуклой линзы.

Олимпиада «Физтех».

2026 год, профиль «научно-технический».

Решения экспериментального тура.

Мощность лампочки. 11 класс.

I. Теория

Предположим, что сопротивление нити лампы линейно зависит от температуры:

$$R = aT,$$

где a — коэффициент пропорциональности.

Электрическая мощность, выделяемая на лампе, равна

$$P = UI = I^2 R.$$

С другой стороны, по закону Стефана–Больцмана мощность излучения нагретой нити:

$$P = \sigma S T^4,$$

где σ — постоянная Стефана–Больцмана, S — площадь поверхности нити, T — температура.

В рамках данной модели считаем, что электрическая мощность, выделяемая на лампе, переходит в излучение:

$$I^2 R = \sigma S T^4.$$

Подставим $R = aT$:

$$I^2 a T = \sigma S T^4.$$

Отсюда

$$a I^2 = \sigma S T^3,$$

$$T^3 = \frac{a}{\sigma S} I^2,$$

$$T = \left(\frac{a}{\sigma S} \right)^{1/3} I^{2/3}.$$

Теперь найдём зависимость мощности от силы тока:

$$P = I^2 R = I^2 a T.$$

Подставляя найденное выражение для температуры, получаем:

$$P = I^2 a \left(\frac{a}{\sigma S} \right)^{1/3} I^{2/3}.$$

Следовательно,

$$P = a \left(\frac{a}{\sigma S} \right)^{1/3} I^{8/3}.$$

Или

$$P = k I^\alpha,$$

где

$$\alpha = \frac{8}{3}, \quad k = \left(\frac{a^4}{\sigma S} \right)^{1/3}.$$

Таким образом, в модели излучательного теплообмена ожидается степенная зависимость мощности от силы тока с показателем

$$\alpha_{\text{теор}} = \frac{8}{3} \approx 2.67.$$

Качественный анализ более общей модели.

Пусть теперь тепловые потери описываются выражением

$$P = aT + bT^4.$$

1. Малые температуры.

При достаточно малых T вклад aT оказывается больше, чем вклад bT^4 . Тогда

$$P \approx aT.$$

Но электрическая мощность по-прежнему равна

$$P = I^2 R, \quad R \propto T.$$

То есть

$$P \propto I^2 T.$$

С другой стороны, в режиме малых температур

$$P \propto T.$$

Следовательно,

$$I^2 T \propto T.$$

При $T \neq 0$ отсюда получается

$$P \propto I^2.$$

2. Большие температуры.

При достаточно больших T вклад bT^4 доминирует, и модель переходит в закон Стефана–Больцмана:

$$P \approx bT^4.$$

Тогда, как было показано выше,

$$P \propto I^{8/3}.$$

3. Вид графика в логарифмических координатах.

Если построить график зависимости $\ln P$ от $\ln I$, то:

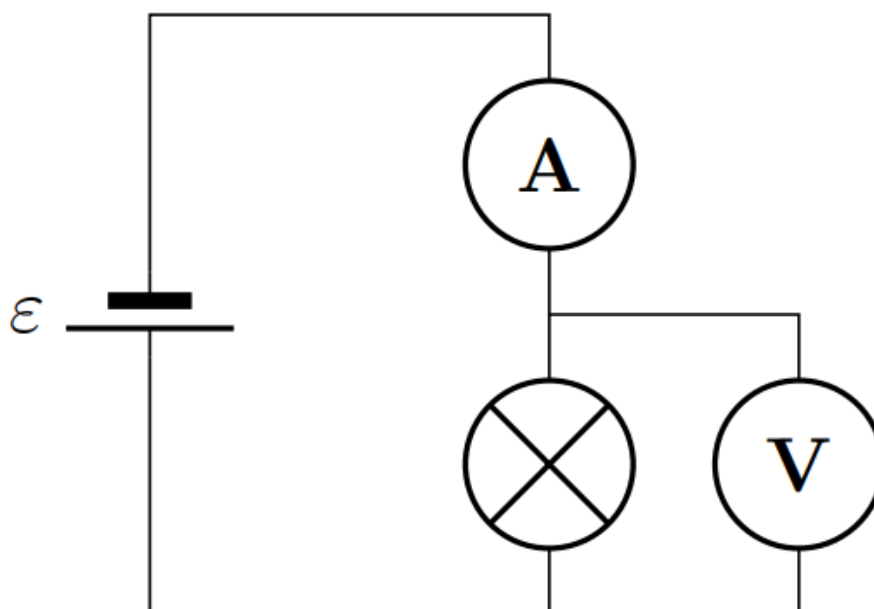
- при малых токах наклон графика должен быть близок к 2,
- при больших токах наклон графика должен стремиться к $\frac{8}{3}$.

Следовательно, в общем случае график в логарифмических координатах не обязан быть одной прямой на всём диапазоне токов: он может иметь излом или плавный переход от наклона 2 к наклону $\frac{8}{3}$.

II. Эксперимент

1) Сборка установки.

Собираем электрическую цепь с лампой, амперметром и вольтметром. Амперметр включается последовательно с лампой, вольтметр — параллельно лампе.



Важно: мультиметр в режиме амперметра нельзя подключать напрямую к источнику питания без лампы.

2) Снятие экспериментальных данных.

Проводим серию измерений силы тока I и напряжения U при различных режимах работы лампы. Для каждой точки вычисляем мощность:

$$P = UI.$$

Результаты измерений и вычислений приведены в таблице:

№	U , В	I , А	$P = UI$, Вт	$\ln I$	$\ln P$
1	0.096	0.09	0.00864	-2.408	-4.751
2	0.200	0.15	0.03000	-1.897	-3.507
3	0.400	0.18	0.07200	-1.715	-2.631
4	0.635	0.19	0.12065	-1.661	-2.115
5	0.700	0.20	0.14000	-1.609	-1.966
6	0.860	0.22	0.18920	-1.514	-1.665
7	1.100	0.24	0.26400	-1.427	-1.332
8	1.375	0.26	0.35750	-1.347	-1.029
9	1.543	0.28	0.43204	-1.273	-0.839
10	1.664	0.29	0.48256	-1.238	-0.729
11	1.818	0.30	0.54540	-1.204	-0.606
12	2.220	0.33	0.73260	-1.109	-0.311
13	2.500	0.35	0.87500	-1.050	-0.134

3) Построение графика.

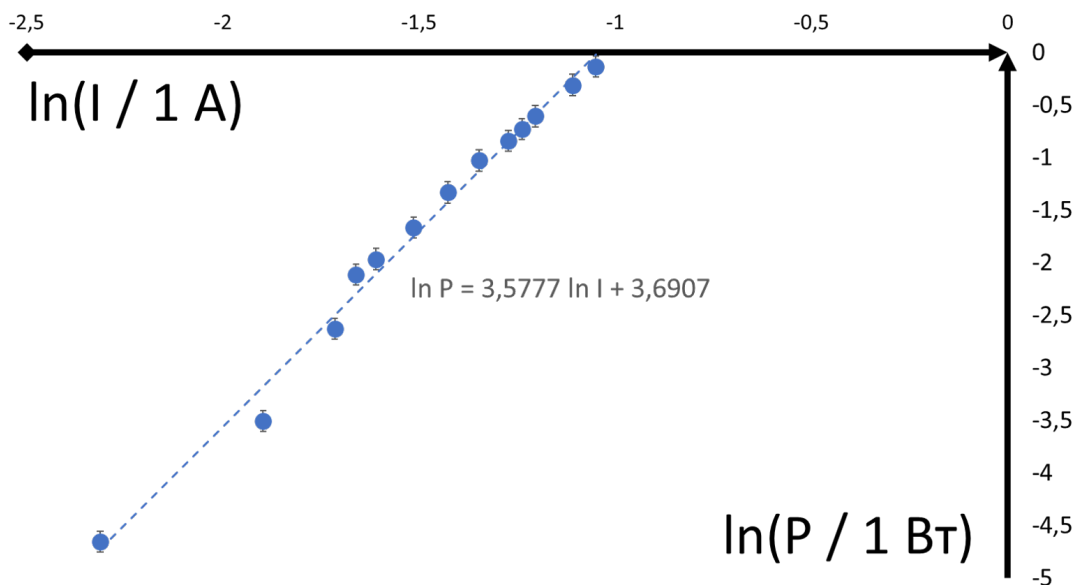
Для проверки степенной зависимости

$$P = kI^\alpha$$

переходим к логарифмам:

$$\ln P = \ln k + \alpha \ln I.$$

Таким образом, строим график зависимости $\ln P$ от $\ln I$.



Экспериментальные точки образуют почти линейную зависимость, однако первые точки при малых токах отклоняются сильнее. Это указывает на то, что в исследуемом диапазоне не реализуется одна и та же модель теплоотдачи с одинаковой точностью.

4) Определение показателя степени.

Аппроксимируем основной линейный участок графика прямой:

$$\ln P = \alpha_{\text{эксп}} \ln I + b.$$

Тогда угловой коэффициент этой прямой равен экспериментальному значению показателя степени:

$$\alpha_{\text{эксп}} \approx 3.57$$

По свободному члену получаем:

$$k_{\text{эксп}} = e^b \approx 28.2.$$

5) Сравнение с теорией.

Теоретически были получены два характерных режима:

$$P \propto I^2 \quad \text{и} \quad P \propto I^{8/3}.$$

Экспериментально получено:

$$\alpha_{\text{эксп}} \approx 3.57.$$

Полученное значение оказывается больше как 2, так и $\frac{8}{3}$. Следовательно, в исследуемом диапазоне токов зависимость мощности от силы тока оказывается более крутой, чем предсказывает упрощённая модель.

Это может быть связано с тем, что:

- сопротивление нити зависит от температуры не строго линейно;
- тепловые потери определяются не только излучением, но и другими механизмами теплоотдачи;
- исследуемый диапазон токов соответствует промежуточной области, в которой простая модель уже недостаточна.

В данной работе можно сделать вывод:

$$P \propto I^{3.57}$$

в исследованном диапазоне токов. Эксперимент подтверждает степенной характер зависимости мощности от силы тока, однако показывает заметное отклонение от упрощённой теоретической модели.

Олимпиада «Физтех».

2026 год, профиль «научно-технический».

Решения экспериментального тура.

Мощность лампочки. 11 класс.

I. Теория

Предположим, что сопротивление нити лампы линейно зависит от температуры:

$$R = aT,$$

где a — коэффициент пропорциональности.

Электрическая мощность, выделяемая на лампе, равна

$$P = UI = I^2 R.$$

С другой стороны, по закону Стефана–Больцмана мощность излучения нагретой нити:

$$P = \sigma S T^4,$$

где σ — постоянная Стефана–Больцмана, S — площадь поверхности нити, T — температура.

В рамках данной модели считаем, что электрическая мощность, выделяемая на лампе, переходит в излучение:

$$I^2 R = \sigma S T^4.$$

Подставим $R = aT$:

$$I^2 a T = \sigma S T^4.$$

Отсюда

$$a I^2 = \sigma S T^3,$$

$$T^3 = \frac{a}{\sigma S} I^2,$$

$$T = \left(\frac{a}{\sigma S} \right)^{1/3} I^{2/3}.$$

Теперь найдём зависимость мощности от силы тока:

$$P = I^2 R = I^2 a T.$$

Подставляя найденное выражение для температуры, получаем:

$$P = I^2 a \left(\frac{a}{\sigma S} \right)^{1/3} I^{2/3}.$$

Следовательно,

$$P = a \left(\frac{a}{\sigma S} \right)^{1/3} I^{8/3}.$$

Или

$$P = k I^\alpha,$$

где

$$\alpha = \frac{8}{3}, \quad k = \left(\frac{a^4}{\sigma S} \right)^{1/3}.$$

Таким образом, в модели излучательного теплообмена ожидается степенная зависимость мощности от силы тока с показателем

$$\alpha_{\text{теор}} = \frac{8}{3} \approx 2.67.$$

Качественный анализ более общей модели.

Пусть теперь тепловые потери описываются выражением

$$P = aT + bT^4.$$

1. Малые температуры.

При достаточно малых T вклад aT оказывается больше, чем вклад bT^4 . Тогда

$$P \approx aT.$$

Но электрическая мощность по-прежнему равна

$$P = I^2 R, \quad R \propto T.$$

То есть

$$P \propto I^2 T.$$

С другой стороны, в режиме малых температур

$$P \propto T.$$

Следовательно,

$$I^2 T \propto T.$$

При $T \neq 0$ отсюда получается

$$P \propto I^2.$$

2. Большие температуры.

При достаточно больших T вклад bT^4 доминирует, и модель переходит в закон Стефана–Больцмана:

$$P \approx bT^4.$$

Тогда, как было показано выше,

$$P \propto I^{8/3}.$$

3. Вид графика в логарифмических координатах.

Если построить график зависимости $\ln P$ от $\ln I$, то:

- при малых токах наклон графика должен быть близок к 2,
- при больших токах наклон графика должен стремиться к $\frac{8}{3}$.

Следовательно, в общем случае график в логарифмических координатах не обязан быть одной прямой на всём диапазоне токов: он может иметь излом или плавный переход от наклона 2 к наклону $\frac{8}{3}$.

II. Эксперимент

1) Сборка установки.

Собираем электрическую цепь с лампой, амперметром и вольтметром. Амперметр включается последовательно с лампой, вольтметр — параллельно лампе.



Важно: мультиметр в режиме амперметра нельзя подключать напрямую к источнику питания без лампы.

2) Снятие экспериментальных данных.

Проводим серию измерений силы тока I и напряжения U при различных режимах работы лампы. Для каждой точки вычисляем мощность:

$$P = UI.$$

Результаты измерений и вычислений приведены в таблице:

№	U , В	I , А	$P = UI$, Вт	$\ln I$	$\ln P$
1	0.096	0.09	0.00864	-2.408	-4.751
2	0.200	0.15	0.03000	-1.897	-3.507
3	0.400	0.18	0.07200	-1.715	-2.631
4	0.635	0.19	0.12065	-1.661	-2.115
5	0.700	0.20	0.14000	-1.609	-1.966
6	0.860	0.22	0.18920	-1.514	-1.665
7	1.100	0.24	0.26400	-1.427	-1.332
8	1.375	0.26	0.35750	-1.347	-1.029
9	1.543	0.28	0.43204	-1.273	-0.839
10	1.664	0.29	0.48256	-1.238	-0.729
11	1.818	0.30	0.54540	-1.204	-0.606
12	2.220	0.33	0.73260	-1.109	-0.311
13	2.500	0.35	0.87500	-1.050	-0.134

3) Построение графика.

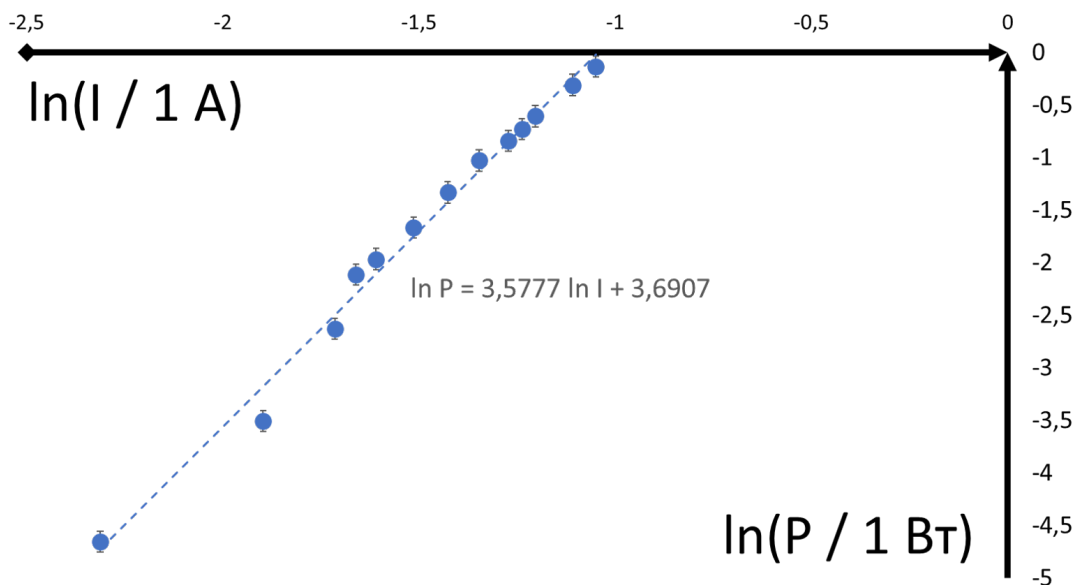
Для проверки степенной зависимости

$$P = kI^\alpha$$

переходим к логарифмам:

$$\ln P = \ln k + \alpha \ln I.$$

Таким образом, строим график зависимости $\ln P$ от $\ln I$.



Экспериментальные точки образуют почти линейную зависимость, однако первые точки при малых токах отклоняются сильнее. Это указывает на то, что в исследуемом диапазоне не реализуется одна и та же модель теплоотдачи с одинаковой точностью.

4) Определение показателя степени.

Аппроксимируем основной линейный участок графика прямой:

$$\ln P = \alpha_{\text{эксп}} \ln I + b.$$

Тогда угловой коэффициент этой прямой равен экспериментальному значению показателя степени:

$$\alpha_{\text{эксп}} \approx 3.29$$

По свободному члену получаем:

$$k_{\text{эксп}} = e^b \approx 28.2.$$

5) Сравнение с теорией.

Теоретически были получены два характерных режима:

$$P \propto I^2 \quad \text{и} \quad P \propto I^{8/3}.$$

Экспериментально получено:

$$\alpha_{\text{эксп}} \approx 3.29.$$

Полученное значение оказывается больше как 2, так и $\frac{8}{3}$. Следовательно, в исследуемом диапазоне токов зависимость мощности от силы тока оказывается более крутой, чем предсказывает упрощённая модель.

Это может быть связано с тем, что:

- сопротивление нити зависит от температуры не строго линейно;
- тепловые потери определяются не только излучением, но и другими механизмами теплоотдачи;
- исследуемый диапазон токов соответствует промежуточной области, в которой простая модель уже недостаточна.

В данной работе можно сделать вывод:

$$P \propto I^{3.29}$$

в исследованном диапазоне токов. Эксперимент подтверждает степенной характер зависимости мощности от силы тока, однако показывает заметное отклонение от упрощённой теоретической модели.

9.1	Измеряем лупу	Балл
К1	Показано, что зависимость $1/b$ от $1/a$ линейная	2
К2	Правильно указано, как по графику определить f (через пересечение)	1
К3	Получена формула для показателя преломления $n = 1 + \frac{R}{2f}$	2
К4	Зарисована верная схема установки	1
К5	Занесены в таблицу измерения a и b (≥ 3 точек, 0.5 за точку, максимум 3)	3
К6	Построен график в линеаризованных координатах (точки — 0.5, оси и подписи — 0.5, прямая/аппроксимация — 0.5)	1.5
К7	По графику верно определено фокусное расстояние f	1
К8	Определён радиус кривизны линзы методом отражения / методом параллакса	2
К9	Верно определен показатель преломления линзы (1.4 – 1.6)	1.5

9.2	Конический маятник	Балл
К1	Правильно расставлены силы, действующие на груз	1
К2	Правильно написаны уравнения связывающие величины α, L, T	2
К3	Получена зависимость $T^2 \sim \cos \alpha$	1
К4	Верным образом выбраны координаты линеаризации	1
К5	Зарисована верная схема установки	1
К6	Период измеряется из усреднения по 5 и более оборотам	2
К7	Измерения периода (≥ 3 точек, 0.5 за точку, максимум 3) СТАВИТСЯ ПРИ К6 > 0	3
К8	Построен график в линеаризованных координатах (точки — 0.5, оси и подписи — 0.5, прямая/аппроксимация — 0.5)	1.5
К9	Верно определено ускорение свободного падения g из графика (9 – 11)	2.5

10.1	Мощность лампочки	Балл
К1	Температура выражена через ток и константы	2
К2	Получена зависимость в виде $P = kI^\alpha$	1
К3	Правильно выражены k и α	2
К4	Зарисована верная схема установки	1
К5	Таблица измерений U, I (≥ 3 точек, 0.5 за точку, максимум 3)	3
К6	Рассчитана мощность $P = UI$	1
К7	Рассчитаны логарифмы величин P и I	1
К8	Построен график в линеаризованных координатах (точки — 0.5, оси и подписи — 0.5, прямая/аппроксимация — 0.5)	1.5
К9	Определён верно α по наклону (2.3 – 4) – 2, найден k – 0.5	2.5

10.2	Измеряем лупу	Балл
К1	Получена связь между a, b и f	2
К2	Показано, что зависимость $1/b$ от $1/a$ линейная	0.5
К3	Правильно указано, как по графику определить f (через пересечение)	0.5
К4	Получено выражение для оптической силы системы «линза + зеркало»	2
К5	Получена формула для показателя преломления $n = 1 + \frac{R}{2f}$	1
К6	Зарисована верная схема установки	0.5
К7	Занесены в таблицу измерения a и b (≥ 3 точек, 0.5 за точку, максимум 3)	3
К8	Построен график в линеаризованных координатах (точки — 0.5, оси и подписи — 0.5, прямая/аппроксимация — 0.5)	1.5
К9	По графику верно определено фокусное расстояние f	0.5
К10	Определён радиус кривизны линзы методом отражения / методом параллакса	2
К11	Верно определен показатель преломления линзы (1.4 – 1.6)	1.5

11.1	Мощность лампочки	Балл
К1	Температура выражена через ток и константы	1
К2	Получена зависимость в виде $P = kI^\alpha$	1
К3	Правильно выражены k и α	1.5
К4	Качественно описан график $\ln P(\ln I)$	1.5
К5	Зарисована верная схема установки	1
К6	Таблица измерений U, I (≥ 3 точек, 0.5 за точку, максимум 3)	3
К7	Рассчитана мощность $P = UI$	1
К8	Рассчитаны логарифмы величин P и I	1
К9	Построен график в линеаризованных координатах (точки — 0.5, оси и подписи — 0.5, прямая/аппроксимация — 0.5)	1.5
К10	Определён верно α по наклону (2.3 – 4) – 2, найден k – 0.5	2.5

11.2	Конический маятник	Балл
К1	Правильно расставлены силы, действующие на груз	1
К2	Правильно получена формула периода	2
К3	Получена зависимость $T^2 \sim \cos \alpha$	1
К4	Получена зависимость $T^2 \sim L$	1
К5	Показано как определять g по угловому коэффициенту каждого из графиков	1
К6	Зарисована верная схема установки	1
К7	Период измеряется из усреднения по 5 и более оборотам	1
К8	Измерения периода (≥ 3 точек, 0.5 за точку, максимум 3) СТАВИТСЯ ПРИ К7 > 0	3
К9	Построен график в линеаризованных координатах (точки — 0.5, оси и подписи — 0.5, прямая/аппроксимация — 0.5)	1.5
К10	Верно определено ускорение свободного падения g (9 – 11) из графика	1.5
К11	Сравнение с расчётными для трех разных длин обосновано	1