

Примечание: Результаты всех измерений и расчетов должны быть представлены в единицах СИ с необходимым числом значащих цифр. Погрешности требуется рассчитывать только в тех пунктах, в которых это указано.

1.0 Введение

Эксперимент с лазерным дальномером (ЛД)



Рисунок 1.1 Часть оборудования для эксперимента

- A: Лазерный дальномер (ЛД)
- B: Оптическое волокно (примерно 1 м)
- C: Клейкие войлочные прокладки с отверстием
- D: Измерительная лента
- E: Скотч – клейкая лента
- F: Ножницы
- G: Крышка от черного ящика

Лазерный дальномер (ЛД, смотри рис. 1.2 и рис. 1.3) состоит из источника и приемника. Источником является диодный лазер, который излучает модулированный лазерный луч, амплитуда которого меняется с очень высокой частотой. Когда лазерный луч попадает на объект, он отражается во всевозможных направлениях. Часть света возвращается назад и попадает в приемник прибора, который находится рядом с источником. Лазерный луч на объекте формирует пятно, изображение которого фокусируется на приемник. Электроника прибора определяет разницу во времени модуляции принятого и испущенного сигналов. Время задержки модуляции t и есть время, которое требуется свету для прохождения расстояния от источника до объекта и затем до приемника. По измеренному времени затем рассчитывается расстояние до объекта по формуле:

$$y = \frac{1}{2}ct + k$$

Это значение y выводится на экран прибора. Здесь $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м с}^{-1}$ - скорость света. Постоянная k зависит от настроек прибора; на приборе можно выбрать: измеряется ли расстояние от переднего или заднего торца прибора. Когда лазерный дальномер включается, по умолчанию измеряется расстояние от заднего торца прибора. **Такая настройка должна сохраняться в процессе всех измерений.**

ЛД не может измерять расстояния меньше 5 см. Максимально возможное измеряемое расстояние примерно равно 25 м. Лазерный луч испускаемый прибором перпендикулярен как переднему так и заднему торцам прибора. Когда прибор лежит на столе плоскость поляризации луча вертикальна (перпендикулярна плоскости дисплея).

Диодный лазер класса 2 с мощностью < 1 мВт и длиной волны 635 нм. Приборная погрешность составляет +/- 2 мм.

Внимание: Диодный лазер прибора может повредить ваши глаза. Не смотрите на лазерный луч и не направляйте его другим людям в глаза!

Приведенный выше расчет расстояния y , естественно, делается в допущении, что свет распространяется со скоростью c . Считайте, что скорость света в воздухе равна скорости света в вакууме, т.е. показатель преломления воздуха $1.00029 \approx 1.000$.



Рисунок 1.2 Вид спереди лазерного дальномера. Не обозначенные шесть кнопок в измерениях не используются (они используются для вычисления площади и объема).

- A:** Вкл/выкл
- B:** Переключение между измерениями от переднего или от заднего торцов прибора.
- C:** Указатель режима измерения (от переднего или от заднего торцов прибора)
- D:** Включение лазера / запуск измерений
- E:** Непрерывное измерение
- F:** Указатель непрерывного измерения



Рисунок 1.3 Лазерный дальномер, вид с переднего торца:

A: Приемник: Линза для фокусировки

B: Источник: Не смотрите на лазерный луч!

1.1 Измерения с лазерным дальномером

Прибор проводит измерение, когда нажимается кнопка **D**, см. рис. 1.2.

1.1a	С помощью ЛД измерьте расстояния H от верха стола до пола. Запишите погрешность измерений ΔH . Приведите схему измерений.	0.4
------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

1.2 Эксперимент с оптическим волокном



Рисунок 1.4 Схема оптического волокна.

Вам выдали оптическое волокно длиной примерно 1 м и диаметром примерно 2 мм. Волокно состоит из двух оптических материалов. Сердцевина (диаметр примерно 1 мм) изготовлена из пластика с большим показателем преломления. Она окружена оболочкой из пластика с меньшим показателем преломления, и все это покрыто защитным чехлом из черного пластика. Свет распространяется по сердцевине волокна и отражается от оболочки вследствие полного внутреннего отражения. Свет распространяется по сердцевине волокна до тех пор, пока волокно сильно не изогнуто.

ЛД надо настроить на непрерывные измерения (кнопка **E**, см. рис. 1.2), тогда показания у прибора будут обновляться примерно раз в секунду. ЛД автоматически перейдет в спящий режим в течение нескольких минут. Его можно активировать нажатием красной кнопки **D** – запуск измерений.

Осторожно и мягко накройте линзу ЛД небольшой черной войлочной прокладкой с отверстием диаметром 2 мм. Клейкую сторону прокладки нужно мягко прижать к линзе. Вставьте оптическое волокно длиной x через отверстие в прокладке так, чтобы оно касалось линзы, см. рис. 1.5.



Рисунок 1.5 (а) Войлочная прокладка и оптоволокно. **(б)** Присоединение оптического волокна.

Другой конец оптического волокна следует удерживать напротив источника, так чтобы он касался стекла в середине лазерного луча. Снимите показание u с экрана прибора. Предоставленные ножницы следует использовать, чтобы нарезать кабель на части различной длиной x .

Примечание: тщательно подумайте перед разрезанием оптического волокна на части, так как дополнительного волокна вам предоставлено не будет.

В некоторых случаях на экране ЛД может появляться значок термометра. Это означает перегрев электроники прибора. В этом случае выключите прибор на некоторое время, чтобы он остыл.

1.2a	Измерьте u при различных длинах x . Запишите данные ваших измерений в таблицу. Постройте график зависимости u от x .	1.8
1.2b	Используя график, найдите показатель преломления n_{co} материала сердцевины волокна. Вычислите скорость света v в оптическом волокне.	1.2

1.3 Лазерный дальномер под углом к вертикали

В этой части задачи используйте оборудование, показанное на рис. 1.6.

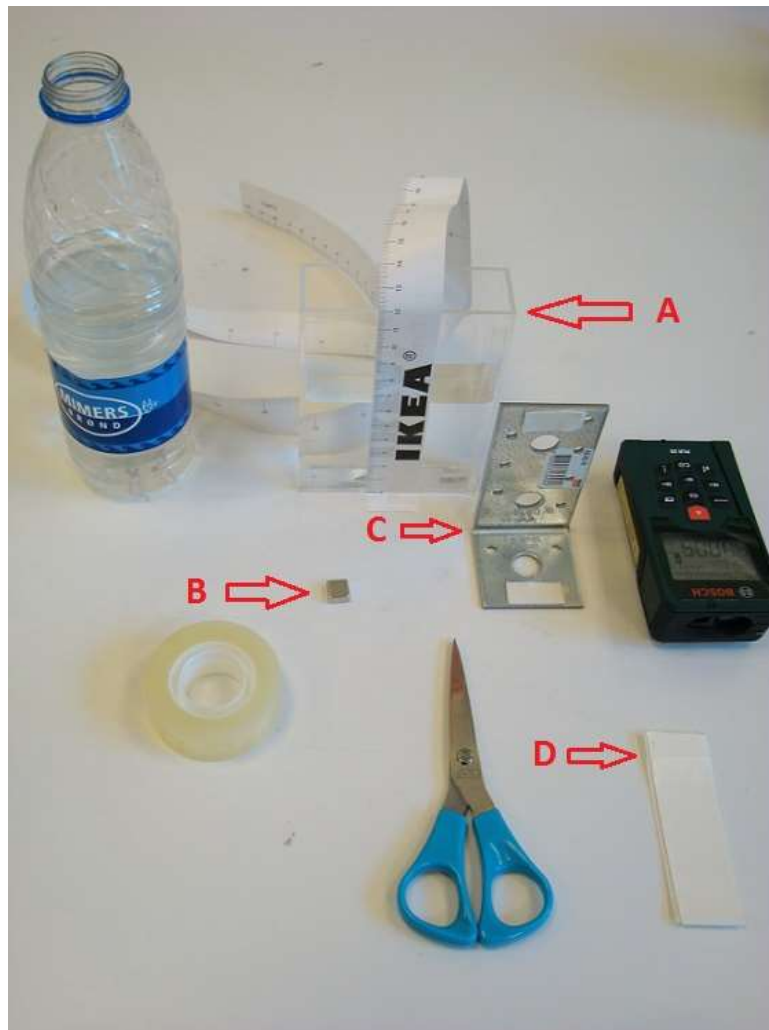


Рисунок 1.6 Оборудование:

A: Прозрачный сосуд с водой и измерительная лента

B: Магнит для закрепления железного уголка на верхней стороне черного ящика. (Он будет находится на железном уголке!)

C: Железный уголок с самоклеящейся прокладкой из пеноматериала

D: Клейкие прокладки из пеноматериала

Снимите черную войлочную прокладку с линзы. ЛД теперь следует разместить следующим образом:

Прикрепите две самоклеящиеся прокладки из пеноматериала на железный уголок, как показано на рис. 1.7.

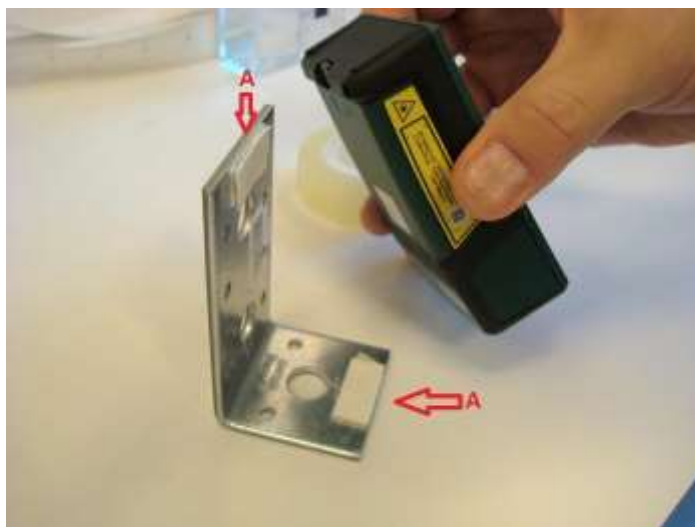


Рисунок 1.7 Как разместить две самоклеящиеся прокладки из пеноматериала на железном уголке.

осторожно поместите ЛД на железный уголок как показано на рис. 1.8.

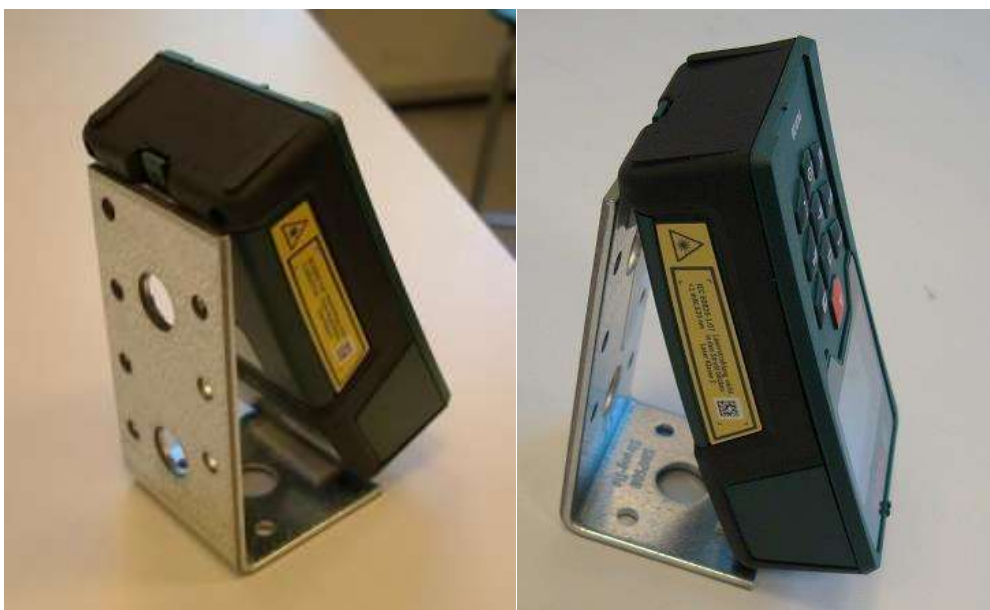


Рисунок 1.8 Как разместить лазерный дальномер на железном уголке.

Железный уголок с ЛД закрепите на черном ящике как показано на рис. 1.9 с помощью магнита, который следует поместить внутри ящика.

Важно расположить ЛД точно так, как на фотографии. Верхняя грань черной коробки наклонена к горизонту примерно на 4 градуса. Лазерный луч должен быть направлен вниз под углом безо всяких препятствий.

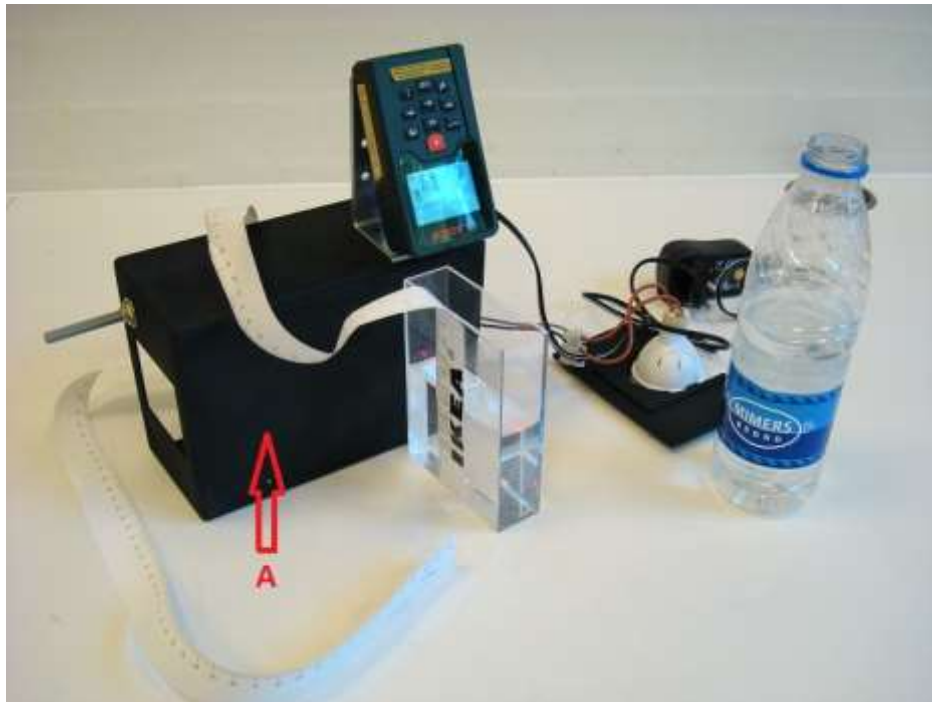


Рисунок 1.9 Схема экспериментальной установки. Черная коробка используется только как подставка. Оборудование за бутылкой не используется.

A: Важно: Низ черного ящика должен смотреть вперед как показано на рисунке. Верхняя сторона, отклонена примерно на 4 градуса от горизонтали. Угол θ_1 (см. рис 1.10) должен быть одинаковым для всех измерений.

Когда установка собрана, лазерный луч образует угол θ_1 с вертикалью. Этот необходимо измерить. Для этого уберите сосуд с водой.

1.3a	Измерьте расстояние y_1 от ЛД до точки падения луча на поверхность стола. Затем передвиньте ящик с ЛД так чтобы луч падал на пол. Измерьте расстояние y_2 до точки попадания лазерного луча на пол. Укажите погрешности измерений.	0.2
1.3b	Вычислите угол θ_1 , используя только измеренные значения y_1 , y_2 и H (из пункта 1.1a). Определите погрешность $\Delta\theta_1$.	0.4

1.4 Эксперимент с сосудом

Разместите сосуд таким образом, чтобы лазерный луч падал на его дно примерно в середине, см. рис. 1.10. Налейте немного воды в сосуд. Измерьте глубину воды x . Считайте показание y с экрана ЛД.

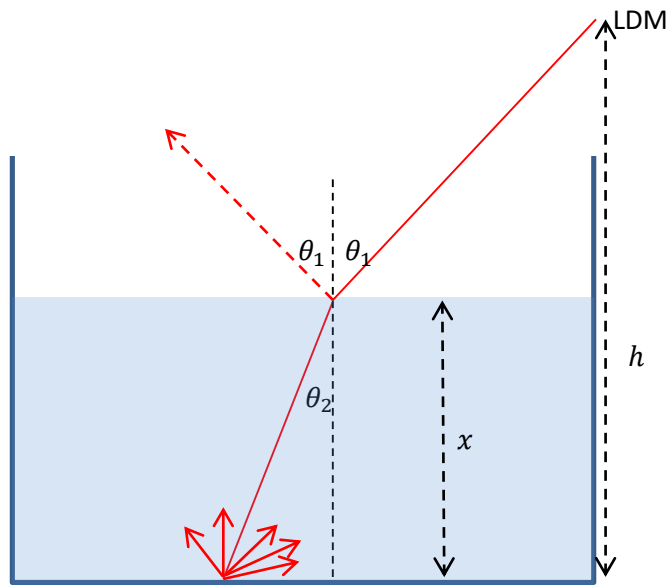


Рисунок 1.10 Схема хода лазерных лучей в сосуде с уровнем воды x .

1.4a	Добавляя воду в сосуд, запишите показания прибора u для различных значений x . Результаты занесите в таблицу измерений. Постройте график зависимости u от x .	1.6
1.4b	Выведите теоретически формулу описывающую зависимость u от x	1.2
1.4c	Используя полученный график, определите показатель преломления воды n_w .	1.2

2.0 Введение

Оборудование для этой экспериментальной задачи показано на Рис. 2.1.

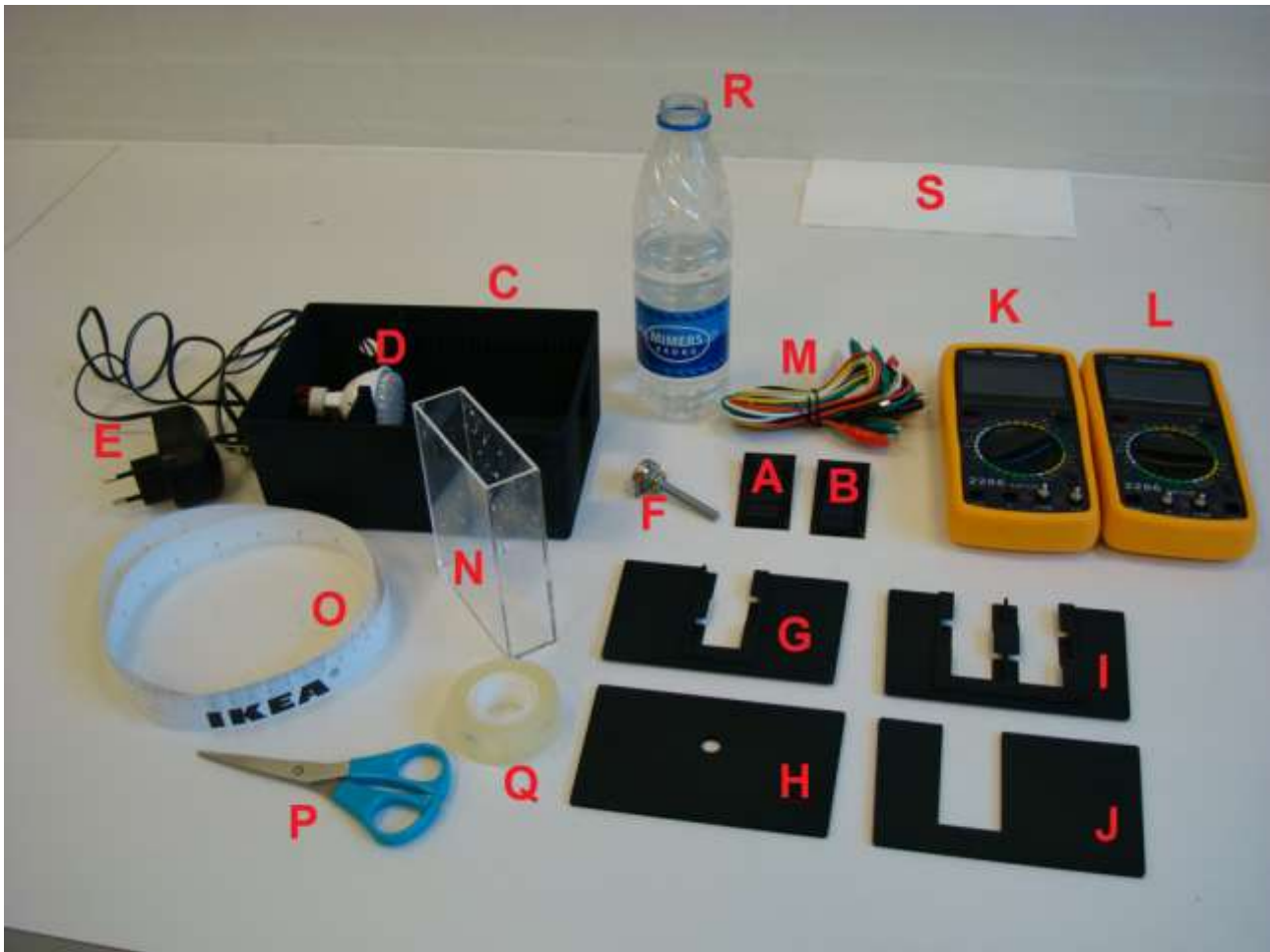


Рисунок 2.1 Оборудование для эксперимента E2.

Список оборудования (см. Рис. 2.1):

A: Солнечный элемент

B: Солнечный элемент

C: Черная коробка с прорезями для крепления источника света, солнечных элементов, и т.д.

D: Светодиодный источник света в держателе

E: Блок питания для источника света D

F: Переменный резистор

G: Пластика для закрепления солнечного элемента в черную коробку C

H: Пластика с круглым отверстием (диафрагмой) для закрепления в черную коробку C

I: Пластика для одновременного закрепления двух солнечных элементов в черную коробку C

J: Пластика для прикрытия одного из солнечных элементов в черной коробке C

K: Цифровой мультиметр

- L: Цифровой мультиметр
- M: Соединительные провода с крокодилами
- N: Прозрачный сосуд (кювета)
- O: Измерительная лента
- P: Ножницы
- Q: Скотч
- R: Вода для наполнения кюветы N
- S: Бумажная салфетка для вытирания воды
- T: Пластиковая кружка для слива воды из кюветы N (не показана на Рис. 2.1)
- U: Пластиковая пипетка (не показана на Рис. 2.1)
- V: Крышка для коробки C (не показана на Рис. 2.1)

Солнечный элемент преобразует часть электромагнитной энергии падающего света в электрическую энергию, разделяя заряды внутри солнечного элемента. Таким путем генерируется электрический ток. Цель эксперимента E2 состоит в исследовании солнечных элементов с помощью предоставленного оборудования. Это оборудование состоит из черной коробки с держателями для источника света и солнечных элементов вместе с различными пластинами и крышкой. Закрепите переменный резистор в черную коробку как показано на Рис. 2.2. Один из трех выводов переменного резистора удален, так как для выполнения эксперимента достаточно оставшихся двух. Также предоставлены соединительные провода с крокодилами и два солнечных элемента (маркированные порядковым номером и буквами A или B) с выводами на обратной стороне для их подключения. Предоставленные вам два солнечных элемента не одинаковы и могут слегка различаться по характеристикам. Два мультиметра снабжены специальными выводами для использования в качестве амперметра и вольтметра, соответственно, как показано на Рис. 2.3. В конце эксперимента будет использована кювета и питьевая вода из бутылки.



Рисунок 2.2 (а) Черная коробка с источником света и переменный резистор (б) Переменный резистор, закрепленный в черной коробке. Обратите внимание, что на нижней стороне переменного резистора имеется специальный выступ, который нужно вставить в отверстие коробки справа от рукоятки и прикрутить его гайкой с шайбой.



Рисунок 2.3 Мультиметры, оборудованные специальными выводами для использования в качестве амперметра (слева) и вольтметра (справа). Мультиметры включаются нажатием кнопки “POWER” в левом верхнем углу. По истечении некоторого времени Мультиметр автоматически выключается, если он не используется. Он может измерять как постоянный ток и напряжение ($=$), так и переменный ток и напряжение (\sim). Внутреннее сопротивление вольтметра 10 МОм независимо от измеряемого диапазона. Падение напряжения на амперметре составляет 200 мВ независимо от измеряемого диапазона. В случае

переполнения экран покажет “Г”, и тогда вам необходимо выбрать больший предел измерений. Не нажимайте кнопку “HOLD” (в правом верхнем углу), которая зафиксирует показание мультиметра.

ВНИМАНИЕ: *Не используйте мультиметр в качестве омметра для измерения сопротивления солнечных элементов, так как это может повредить их. Меняя предел измерений мультиметра, аккуратно поворачивайте рукоятку, она может сломаться. При измерениях всегда проверяйте, стоит ли число под десятичной точкой – если рукоятка не полностью зафиксирована, мультиметр не будет измерять, даже если на экране присутствуют некоторые цифры.*

Замечание: Не изменяйте напряжение на блоке питания. Оно должно быть 12 В в течение всего эксперимента. (Блок питания для источника света должен включаться в розетку (230 V ~) на вашем столе.)

Замечание: Оценивайте погрешности только в том случае, если это сказано в задании.

Замечание: Все измеренные и вычисленные величины должны быть приведены в единицах системы СИ.

Замечание: Для всех измерений тока и напряжения в этом эксперименте светодиодный источник света должен быть включенным.

2.1 Зависимость силы тока солнечного элемента от расстояния до источника света

В этой части вам нужно будет измерить силу тока I , генерируемого солнечным элементом, с помощью амперметра включенного в цепь, и определить его зависимость от расстояния r до источника света. Свет излучается *внутри* самих светодиодов, поэтому r нужно измерять, как показано на Рис. 2.4.

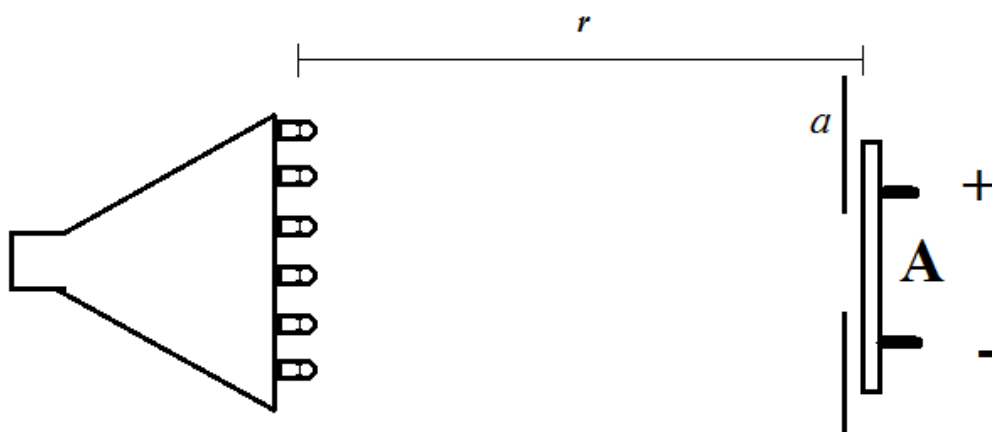


Рисунок 2.4 Вид сверху на установку в части 2.1. Заметьте, что перед солнечным элементом А расположена пластинка с круглым отверстием. Расстояние измеряется от точки внутри светодиодов до поверхности солнечного элемента.

Не изменяйте пределы измерения амперметра в этой части эксперимента: внутреннее сопротивление амперметра зависит от предела измерений, и таким образом, будет влиять на ток, текущий от солнечного элемента.

Укажите серийный номер источника света и солнечного элемента А на листе ответа. Закрепите источник света в U-образном держателе черной коробки (источник света должен быть плотно вставлен в держатель). Вставьте солнечный элемент А в пластинку G и поместите ее в черную коробку. Непосредственно перед солнечным элементом вставьте пластинку с круглым отверстием Н. Сила тока I , как функция расстояния r до источника света, может быть аппроксимирована, в случае, когда r не очень мало, формулой

$$I(r) = \frac{I_a}{1 + \frac{r^2}{a^2}}$$

где I_a и a некоторые постоянные.

2.1a	Измерьте I как функцию от r и занесите данные измерений в таблицу.	1.0
2.1b	Используя подходящий графический метод, определите значения I_a и a	1.0

2.2 Вольт-амперная характеристика солнечного элемента

Уберите пластинку с круглым отверстием. Закрепите переменный резистор в коробке как показано на Рис. 2.2. Поместите источник света в отверстие номер 0, самое дальнее от резистора. Закрепите солнечный элемент А в пластинке G и вставьте их отверстие номер 10. Соберите цепь, как показано на Рис. 2.5, так чтобы вы смогли измерить вольт-амперную характеристику солнечного элемента, т.е. напряжение на выходе солнечного элемента U как функцию от силы тока I в цепи, состоящей из солнечного элемента, переменного резистора и амперметра.

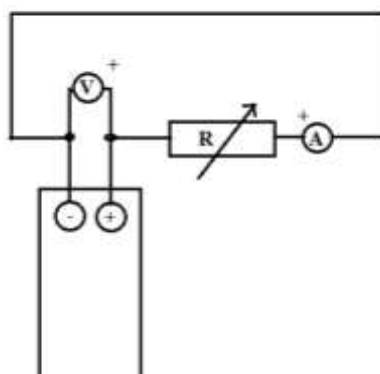


Рисунок 2.5 Электрическая схема для измерения вольт-амперной характеристики в части 2.2.

2.2a	Занесите в таблицу измерения U и I .	0.6
2.2b	Постройте график вольт-амперной характеристики солнечного элемента.	0.8

2.3 Теоретическая вольт-амперная характеристика солнечного элемента

Теоретически вольт-амперная характеристика солнечных элементов может быть описана с помощью формулы

$$I = I_{\max} - I_0 \left(\exp\left(\frac{eU}{\eta k_B T}\right) - 1 \right)$$

где параметры I_{\max} , I_0 и η постоянны при фиксированном освещении. Примем температуру равной $T = 300$ К. Фундаментальные постоянные e и k_B – элементарный заряд и постоянная Больцмана, соответственно.

2.3a	Используя график, построенный в части 2.2b, определите I_{\max} .	0.4
------	---------------------------------------------------------------------	-----

Параметр η лежит в интервале от 1 до 4. Для некоторых значений разности потенциалов U , эту формулу можно аппроксимировать выражением

$$I \approx I_{\max} - I_0 \exp\left(\frac{eU}{\eta k_B T}\right)$$

2.3b	Оцените диапазон значений разности потенциалов U , для которого справедлива приведенная аппроксимация. Используя графический метод, определите I_0 и η для вашего солнечного элемента.	1.2
------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

2.4 Максимальная мощность солнечного элемента

2.4a	Обозначим максимальную мощность, которую солнечный элемент может отдать во внешнюю цепь как P_{\max} . Используя данные полученные в части 2.2, определите P_{\max} для вашего солнечного элемента, проведя несколько дополнительных измерений для ее уточнения.	0.5
2.4b	Оцените оптимальное нагрузочное сопротивление R_{opt} , т.е. внешнее сопротивление, при котором солнечный элемент рассеивает наибольшую мощность на R_{opt} . Приведите свой результат вместе с погрешностью, проиллюстрировав метод ее вычисления.	0.5

2.5 Сравнение солнечных элементов

Закрепите оба солнечных элемента (А и В) в пластинку I в отверстие номер 15, как показано на Рис. 2.6.

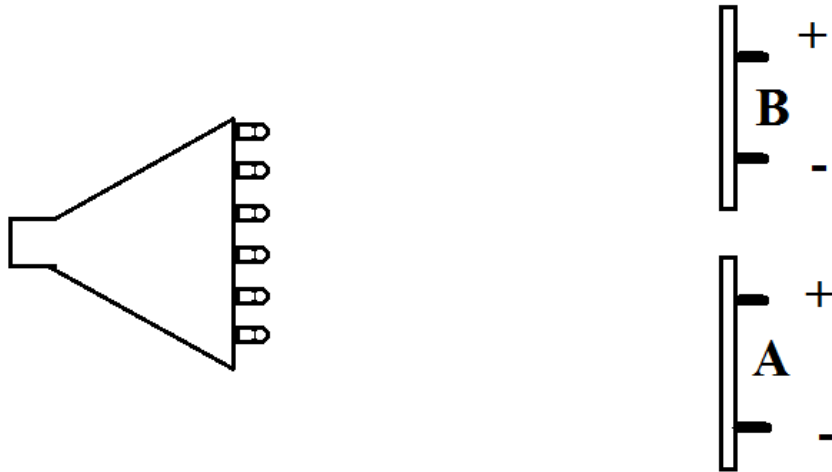


Рисунок 2.6 Вид сверху на источник света и солнечные элементы в части 2.5.

2.5a	Измерьте для заданного освещения: - Наибольшую разность потенциалов U_A , которую можно получить на солнечном элементе А. - Наибольшую силу тока I_A , который может дать солнечный элемент А. Прodelайте то же самое для солнечного элемента В.	0.5
2.5b	Нарисуйте электрические схемы, показывающие соединения солнечных элементов с мультиметрами.	0.3

2.6 Соединение солнечных элементов

Как показано на Рис. 2.7, два солнечных элемента могут быть соединены последовательно двумя различными способами. Существует также два различных способа соединить их параллельно (не показано на рисунке).

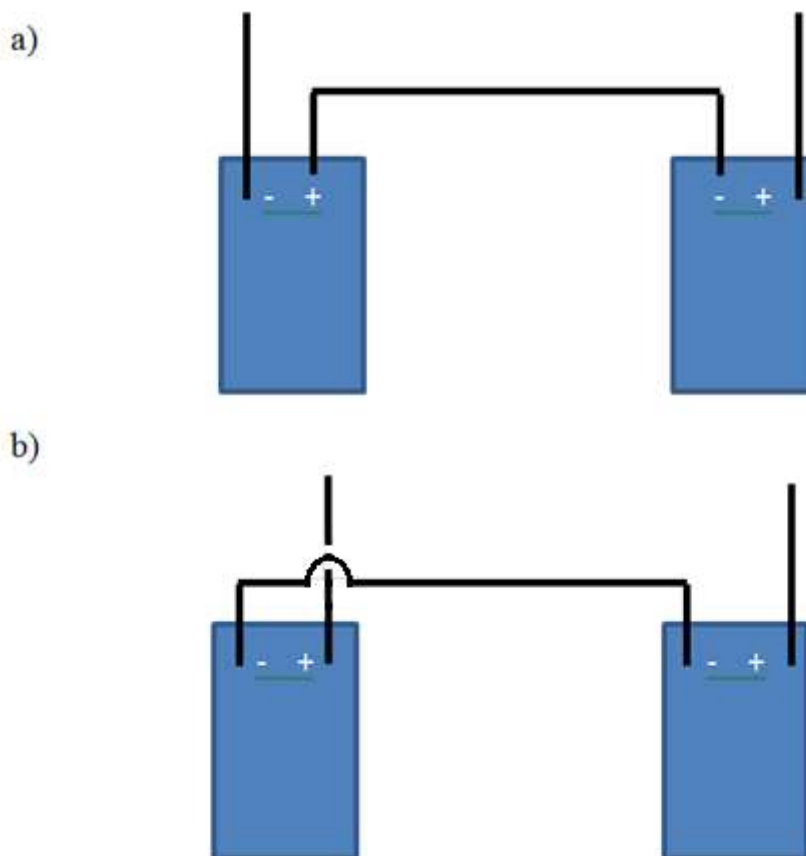


Рисунок 2.7 Два способа последовательного соединения солнечных элементов для части 2.6.

2.6а	<p>Определите, какой из четырех разных способов соединения двух солнечных элементов позволяет отдать во внешнюю цепь наибольшую мощность, когда один из солнечных элементов прикрыт пластинкой (J показанной на Рис. 2.1). Подсказка: Максимальная мощность может быть оценена с хорошей точностью по максимальному напряжению и максимальному току, измеренным для каждого из возможных способов соединения. Нарисуйте соответствующие электрические схемы.</p>	1.0
------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

2.7 Влияние кюветы на ток, даваемый солнечным элементом

Закрепите источник света в коробке и вставьте солнечный элемент А в пластинку G. Поместите пластинку с круглым отверстием Н перед солнечным элементом на расстоянии 50 мм от него. Разместите пустую кювету непосредственно перед диафрагмой, как показано на Рис. 2.8.



Рисунок 2.8 Экспериментальная установка для части 2.7.

2.7a	Измерьте силу тока I как функцию высоты h уровня воды в кювете, см. Рис. 2.8. Занесите данные в таблицу и постройте график.	1.5
2.7b	Используя только чертежи и символы качественно объясните форму полученного графика.	0.5

Закрепите источник света в черной коробке, вставьте солнечный элемент А в пластинку G и поместите ее в коробку так, чтобы расстояние между источником света и солнечным элементом было максимально. Поместите пластинку с круглым отверстием Н непосредственно перед солнечным элементом.

2.7c	Для этой установки выполните следующее: - Измерьте расстояние r_1 между источником света и солнечным элементом, а также измерьте соответствующую силу тока I_1 . - Разместите пустую кювету непосредственно перед пластинкой с круглым отверстием Н и измерьте соответствующую силу тока I_2 . - Наполните сосуд водой почти доверху и измерьте силу тока I_3 .	0.6
2.7d	Воспользуйтесь своими измерениями из задания 2.7с, чтобы определить значение показателя преломления воды n_w . Проиллюстрируйте свой метод	1.6

	соответствующими эскизами и уравнениями. Вы можете также провести дополнительные измерения.	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------	--