

Замечание: Все измерения и вычисления должны быть представлены в единицах системы СИ с необходимым количеством значащих цифр. Погрешности нужно оценивать только, если это явно указано.

1.0 Введение

Эксперимент с лазерным дальномером (ЛД)

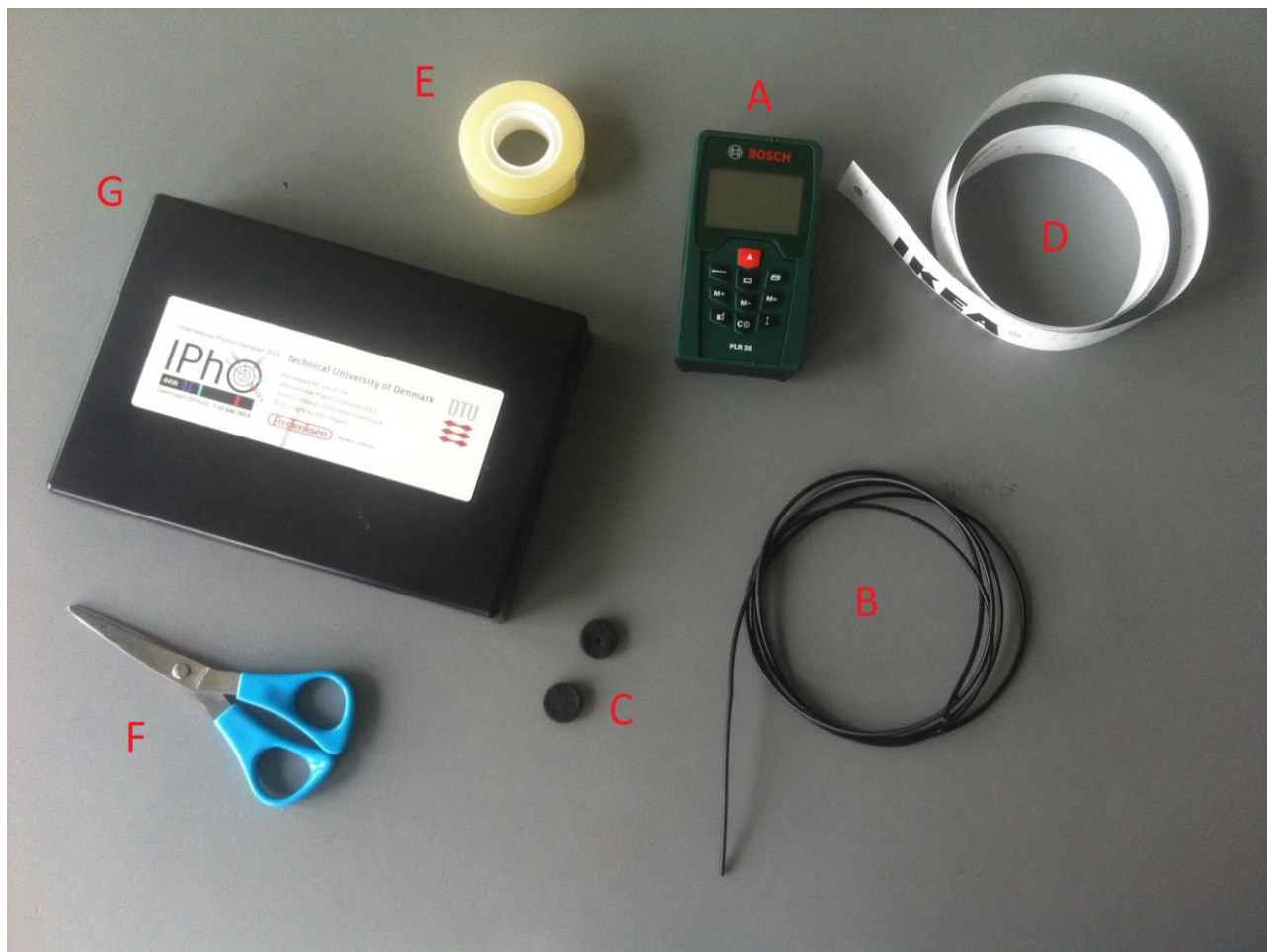


Рис. 1.1 Часть оборудования для эксперимента

A: Лазерный дальномер

B: Оптическое волокно (длиной 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, Рис. 1.2 и Рис. 1.3) состоит из источника (излучателя) и приемника. Источником является диодный лазер, излучение которого промодулировано с очень высокой частотой. Когда лазерный луч попадает на объект, он отражается во

всевозможных направлениях. Часть света возвращается обратно и попадает в приемник дальномера, расположенный рядом с источником. Телескопическая оптика дальномера автоматически фокусируется на точку, которую лазерный луч формирует на объекте, и регистрирует рассеянный свет. Электроника дальномера измеряет время, которое требуется свету для преодоления расстояния от источника до приемника.

Измеренное время потом преобразуется в значение y по формуле

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

Это значение y показывается на экране дальномера. Здесь $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м с}^{-1}$ - скорость света. Постоянная k зависит от настроек дальномера, которые позволяют измерять расстояние либо от верхней (см. Рис. 1.2) либо от нижней стороны (края) дальномера. Когда лазерный дальномер включают, по умолчанию действует настройка, при которой расстояние измеряется от нижней стороны дальномера. **Эта настройка должна сохраняться в процессе всех измерений!!!**

Из-за параллакса, дальномер не может измерять расстояния менее 5 см. Максимально возможное расстояние для измерений примерно 25 м.

Мощность диодного лазера $< 1 \text{ мВт}$, а длина волны 635 нм. Погрешность, определения расстояния дальномером, заявленная производителем, составляет 2 мм.

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

Настройки дальномера

Приведенный выше расчет расстояния y , естественно, делается в предположении, что свет распространяется со скоростью c . С учетом точности измерений нет никакой необходимости различать скорость распространения света в вакууме и в воздухе.



Рис. 1.2 Не отмеченные кнопки не нужны вам для выполнения эксперимента. Функции отмеченных кнопок:

- A:** Вкл/выкл
B: Переключение между режимами измерения от верхней или от нижней стороны дальномера.
C: Индикатор режима измерения от верхней/нижней стороны дальномера
D: Включение лазера/выполнение измерений
E: Режим непрерывного измерения
F: Индикатор непрерывного измерения



Рис. 1.3 Дальномер, вид с верхней стороны:

- A:** Источник с линзой
B: Приемник. **Не смотрите в лазерный луч!**

1.1 Измерения дальномером

Для выполнения измерения нужно нажать кнопку **D**, Рис. 1.2.

1.1a	Используйте дальномер для измерения расстояния H от верхней поверхности стола до пола. Запишите погрешность измерений ΔH . Покажите с помощью рисунка, как вы делали измерения.	0.4
------	---	-----

1.2 Эксперимент с оптическим волокном



Рис. 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) делается из пластика с большим показателем преломления. Она окружена промежуточным слоем из пластика с немного меньшим показателем преломления, и все это покрыто защитным слоем из черного пластика. Сердцевина и промежуточный слой образуют волновод. На границе между сердцевинной и промежуточным слоем свет испытывает полное отражение (и не может покинуть сердцевину) до тех пор пока угол падения больше чем критический угол полного отражения. Таким образом, свет будет распространяться в сердцевине волокна, даже если волокно сгибать, конечно до тех пор, пока его не согнут слишком сильно.

Теперь вы должны перевести дальномер в режим непрерывного измерения (кнопка **Е**, Рис. 1.2). В этом режиме показания прибора у будут обновляться примерно раз в секунду. Дальномер автоматически перейдет в спящий режим через несколько минут. Его можно вернуть из спящего режима нажатием красной кнопки «Пуск».

Осторожно накройте линзу приемника дальномера одной небольшой черной войлочной прокладкой (другая прокладка – запасная), приложив ее клейкой стороной к линзе, и несильно прижмите её до приклеивания. Вставьте конец оптического волокна в отверстие приклеенной прокладки, так чтобы конец волокна коснулся линзы (рис. 1.5). Обозначьте длину волокна через x .



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

Другой конец оптического волокна следует удерживать рукой напротив источника так, чтобы он касался стекла в середине лазерного луча. Снимите показание y с экрана прибора. Предоставленные ножницы следует использовать для резания волокна.

Внимание: тщательно подумайте перед тем, как разрезать оптическое волокно, так как дополнительное оптическое волокно не предоставляется.

1.2a	Измерьте соответствующие значения x и y . Запишите данные ваших измерений в таблицу. Постройте график зависимости y от x .	1.8
1.2b	Воспользуйтесь графиком, чтобы найти показатель преломления n_{co} материала сердцевины волокна. Вычислите скорость света v в сердцевине оптического волокна.	1.2

1.3 Дальномер под углом к вертикали

В этой части задания вам потребуется оборудование, показанное на Рис. 1.6.

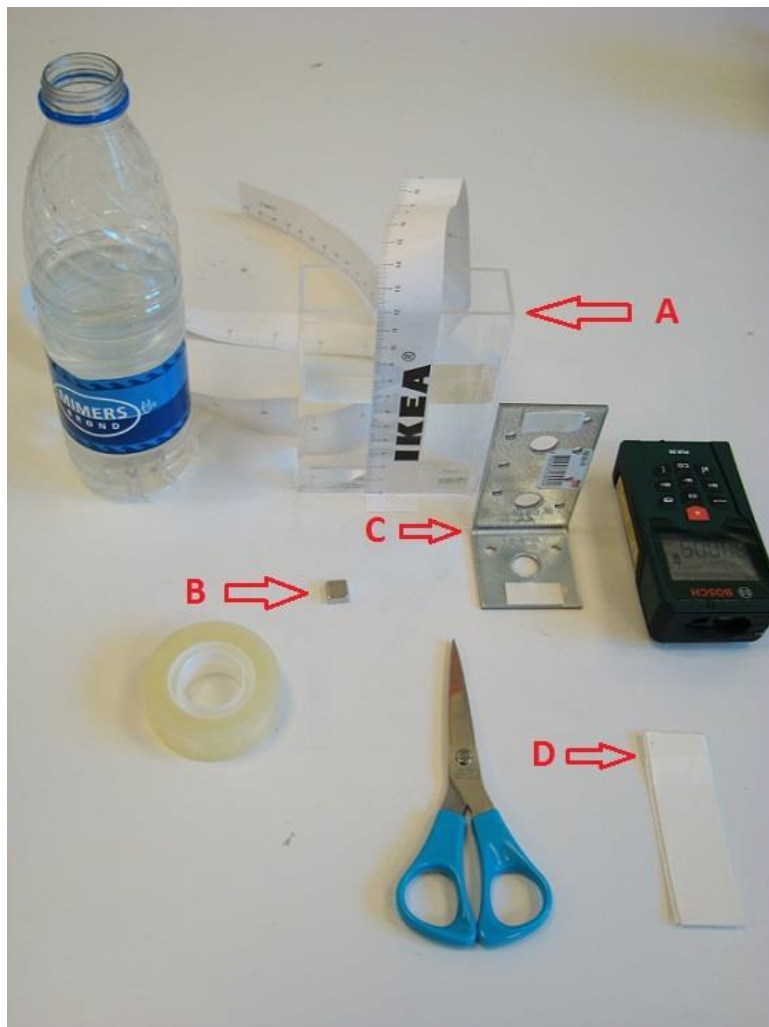


Рис. 1.6 Оборудование, показанное на рисунке:

A: Оптический сосуд с водой и измерительной лентой

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

C: Железный уголок с прямоугольными самоклеящимися прокладками

D: Самоклеющиеся прокладки

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

Поместите две прямоугольные самоклеящиеся прокладки на железный уголок (смотри метки **A** на Рис. 1.7).

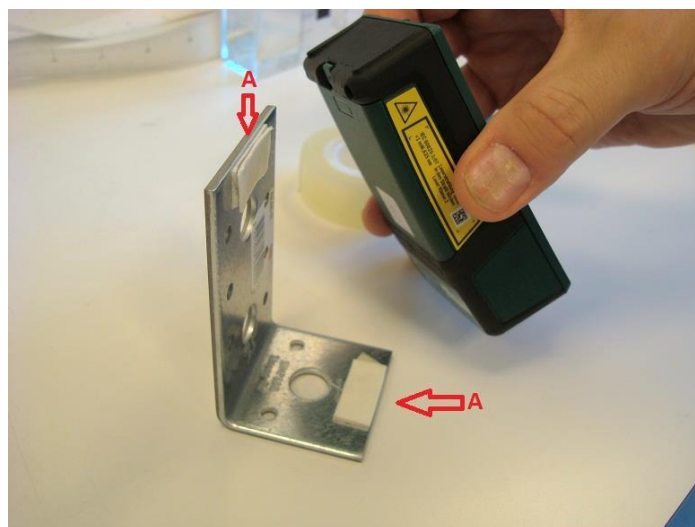


Рис. 1.7 Показано, как размещать две самоклеящиеся прокладки из пеноматериала на железном уголке.

Дальномер следует приклеить к железному уголку (Рис. 1.8).

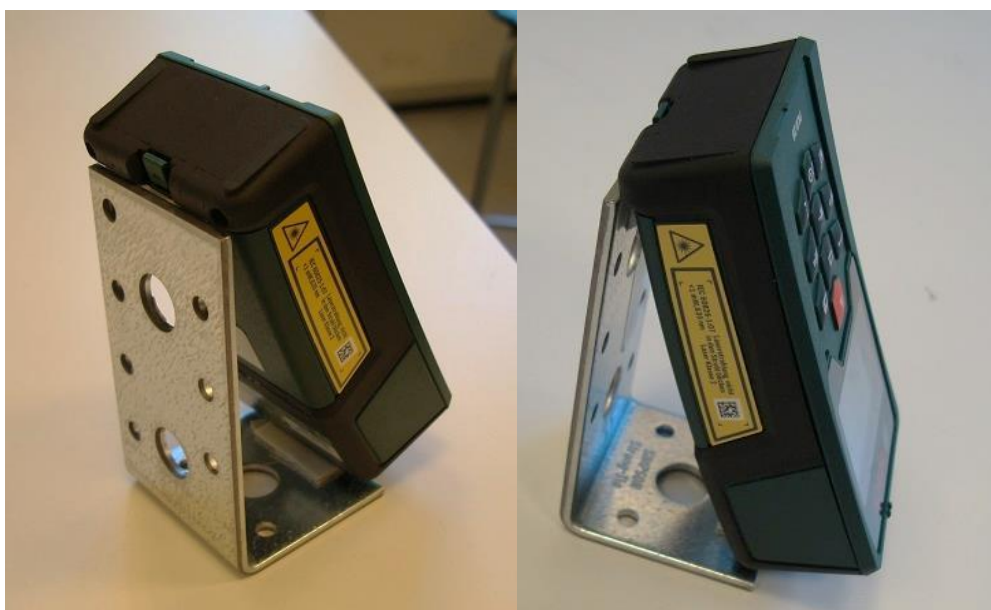


Рис. 1.8 Показано, как разместить лазерный дальномер на железном уголке.

Железный уголок с дальномером закрепите на черной коробке с помощью магнита, помещенного внутри коробки под металлическим уголком, как показано на Рис. 1.9. (Небольшой магнит изначально находится на железном уголке). Важно закрепить дальномер по отношению к коробке в точности так, как показано на рис. 1.9. Верхняя сторона коробки, на которую установлен дальномер, будет наклонена примерно на 4 градуса. Лазерный луч должен быть направлен под углом вниз безо всяких препятствий.

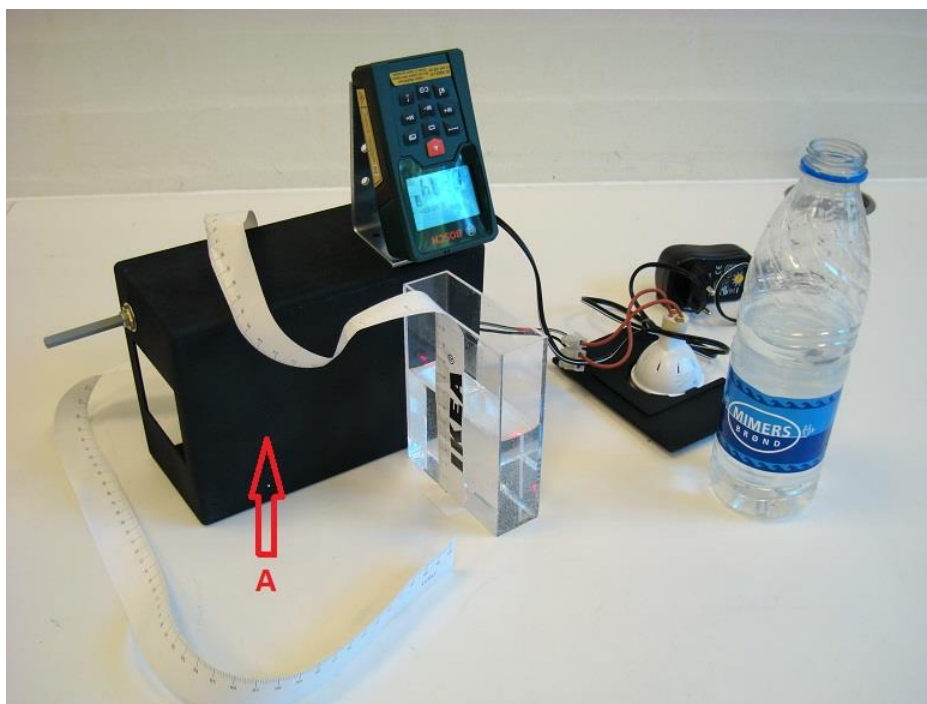


Рис. 1.9 Установка для эксперимента. (Черная коробка используйте только как подставку. Оборудование, изображенное за бутылкой, не используется в этой задаче)

A: Важно: Дно черной коробки, лежащей на борту, направьте к себе, как показано на рисунке. Сторона коробки, обращенная вверх, отклонена примерно на 4 градуса от горизонтали. Угол θ_1 (рис. 1.10) должен оставаться одинаковым во всех измерениях.

Когда дальномер включен и установлен, как описано выше, лазерный луч составляет угол θ_1 с вертикалью. Этот угол должен оставаться одинаковым во всех измерениях. Определите этот угол. Оптический сосуд в этом эксперименте вам не понадобится, поэтому временно уберите его.

1.3a	Измерьте дальномером расстояние y_1 до точки, в которой лазерный луч попадает на поверхность стола. Затем сдвиньте коробку вместе с дальномером горизонтально до тех пор, пока лазерный луч не попадет на пол. Измерьте дальномером расстояние y_2 до точки попадания лазерного луча на пол. Приведите погрешности измерений.	0.2
1.3b	Вычислите угол θ_1 используя только измерения y_1 , y_2 и H (значение H возьмите из пункта 1.1a). Определите погрешность $\Delta\theta_1$.	0.4

1.4 Эксперимент с оптическим сосудом

Разместите оптический сосуд таким образом, чтобы лазерный луч попадал на его дно примерно посередине (Рис. 1.10). Налейте немного воды в сосуд. Глубина воды x . Снимите показание y с экрана дальномера.

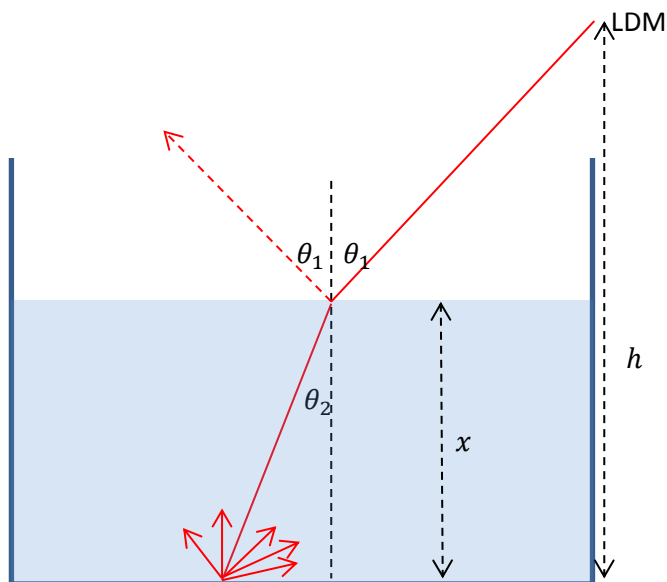


Рис. 1.10 Схема лазерных лучей в оптическом сосуде (уровень воды x).

1.4a	Измерьте соответствующие значения x и y и занесите их в таблицу измерений. Постройте график зависимости y от x .	1.6
1.4b	Покажите аналитически, как этот график должен выглядеть теоретически.	1.2
1.4c	Воспользуйтесь графиком, чтобы определить показатель преломления воды n_w .	1.2

2.0 Введение

Оборудование для этой экспериментальной задачи показано на рис. 2.1.

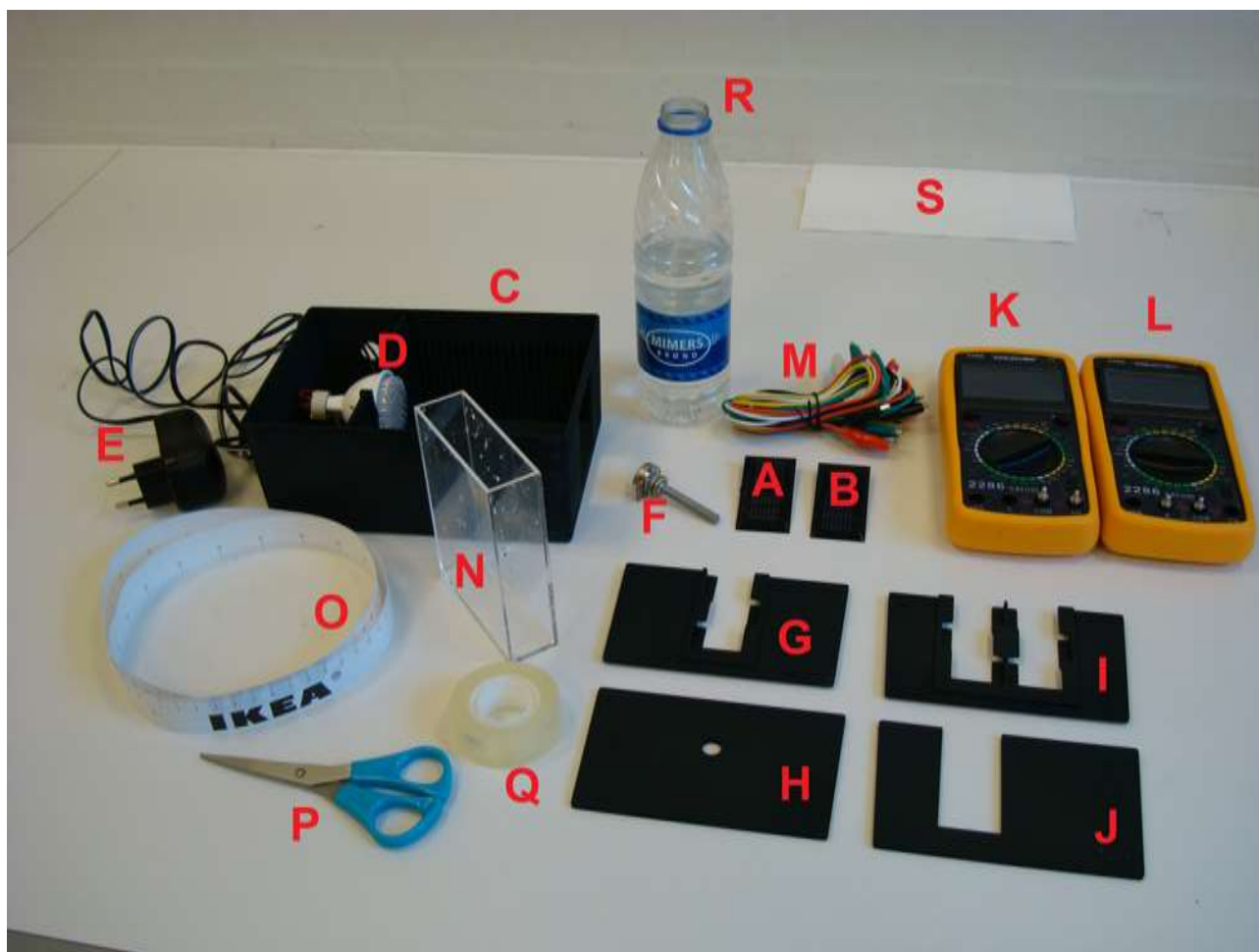


Рис. 2.1 Оборудование для эксперимента E2.

Список оборудования (рис. 2.1):

A: Солнечный элемент

B: Солнечный элемент

C: Ящик с пазами для крепления источника света, солнечных элементов, и т.д.

D: Светодиодный источник света в держателе

E: Блок питания источника света D

F: Переменный резистор

G: Держатель одного солнечного элемента в ящике C

H: Круговая диафрагма для использования в ящике C

I: Держатель двух солнечных элементов в ящике C

J: Заслонка для использования в ящике C

K: Цифровой мультиметр

L: Цифровой мультиметр

M: Провода с зажимами

N: Оптический сосуд (большая кювета)

O: Измерительная лента

P: Ножницы

Q: Скотч

R: Вода для наполнения сосуда N

S: Бумажная салфетка для промокания воды

T: Пластиковая кружка для воды из оптического сосуда N (не показана на рис. 2.1)

U: Пластиковая пипетка (не показана на рис. 2.1)

V: Крышка для ящика C (не показана на рис. 2.1)

Табличные данные

Скорость света в вакууме	$c = 2.998 \times 10^8 \text{ м с}^{-1}$
Элементарный заряд	$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ Кл}$
Постоянная Больцмана	$k_B = 1.381 \times 10^{-23} \text{ Дж К}^{-1}$

Солнечный элемент преобразует часть электромагнитной энергии падающего света в электрическую энергию, путем разделения зарядов. Так генерируется электрический ток. В эксперименте E2 исследуются солнечные элементы с помощью предоставленного оборудования. Оборудование состоит из коробки с держателями для источника света и солнечных элементов вместе с различными пластинами и крышкой. Переменный резистор следует закрепить в коробке, рис. 2.2. Один из трех выводов резистора удален, так как для работы достаточно оставшихся двух. В комплекте имеются провода с зажимами и два солнечных элемента (маркированные порядковым номером и буквами A или B) с выводами сзади. Два солнечных элемента аналогичны, но могут слегка различаться. На рис. 2.3 изображены два мультиметра с указанием выводов, которые разрешено использовать. В эксперименте будет использоваться оптический сосуд и питьевая вода из бутылки.



Рис. 2.2 (а) Коробка с источником света и резистором для крепежа. (б) Переменный резистор, закрепленный в коробке. Заметьте, что небольшой штифт на резисторе подходит под отверстие справа от рукоятки.



Рис. 2.3 Мультиметры с указанием выводов, которые разрешено использовать. Левый мультиметр используется как амперметр, правый – как вольтметр. Прибор включается нажатием кнопки “POWER” в левом верхнем углу. Прибор выключается автоматически после некоторого времени простоя. Он может измерять как постоянный ток и напряжение (=), так и переменный ток и напряжение (~). Внутреннее сопротивление вольтметра – 10 МОм вне зависимости от диапазона, в котором вы работаете. Разность потенциалов на амперметре – 200 мВ при максимальном значении тока в диапазоне вне зависимости от диапазона, в котором вы работаете. В случае «зашкаливания» дисплей покажет “1”, и тогда нужно выбрать диапазон измерения больших значений. Кнопка “HOLD” (в правом верхнем углу) позволяет зафиксировать показание, если вам это потребуется.

ВНИМАНИЕ: *Запрещается использовать мультиметр в качестве омметра для измерения сопротивления солнечных элементов, так как это может повредить их. Меняя предел измерений мультиметра, поворачивайте рукоятку осторожно. Она может сломаться. Проверяйте, видно ли число после десятичной запятой при измерениях – если переключатель не полностью зафиксирован, мультиметр не будет измерять, даже если на экране присутствуют цифры.*

Примечание: Не меняйте 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.)

Примечание: Погрешности оцениваются только, если это явно указано в задании.

Примечание: Все измеренные и вычисленные величины приводятся в единицах системы СИ.

Примечание: При всех измерениях тока и напряжения на солнечном элементе в этом эксперименте светодиодный источник света предполагается включенным.

2.1 Зависимость тока солнечного элемента от расстояния до источника света

В этом задании измерьте силу тока I , генерируемого солнечным элементом, включенным в цепь вместе с амперметром. Также определите как сила тока зависит от расстояния r до источника света. Свет излучается *внутри* самих светодиодов, и r , следовательно, надо измерять так, как показано на рис. 2.4.

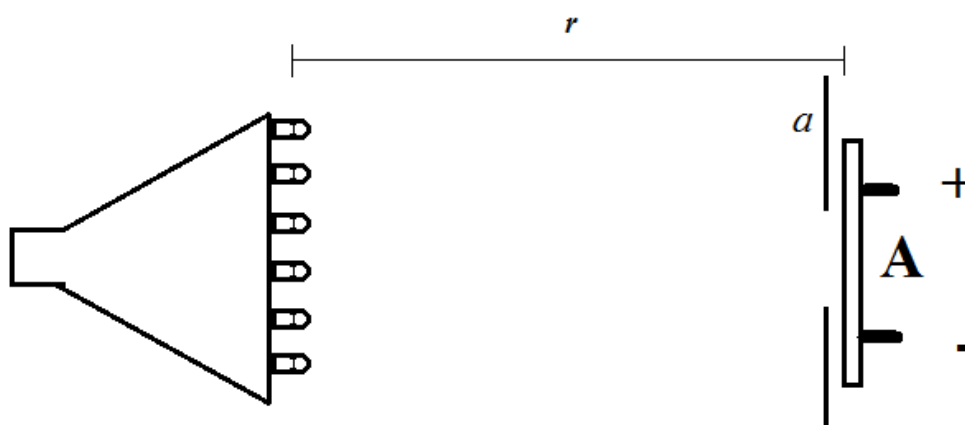


Рис. 2.4 Вид сверху на установку в задании 2.1. Круговая диафрагма a перед солнечным элементом. Расстояние измеряется от точки внутри светодиодов до поверхности солнечного элемента.

Не изменяйте пределы измерения амперметра в этом эксперименте: 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 ответов. Закрепите источник света в U-образном держателе (будьте аккуратны, источник туго входит в держатель). Закрепите солнечный элемент А в держателе для одного солнечного элемента. Непосредственно перед солнечным элементом поместите круговую диафрагму.

Когда расстояние до источника света r не очень мало, сила тока I может быть аппроксимирована формулой

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

где I_a и a некоторые константы.

2.1a	Измерьте I как функцию r и поместите данные измерений в таблицу.	1.0
2.1b	Определите значения I_a и a подходящим графическим методом.	1.0

2.2 Вольт-амперная характеристика (ВАХ) солнечного элемента

Закрепите переменный резистор в коробке как показано на рис. 2.2. Поместите источник света в паз №0, самый дальний от резистора. Закрепите солнечный элемент А в держателе одного солнечного элемента *без круговой диафрагмы* в паз №10. Соберите цепь, как показано на рис. 2.5, для измерения ВАХ солнечного элемента, т.е. напряжение на выходе солнечного элемента U как функцию силы тока I в цепи, состоящей из солнечного элемента, резистора и амперметра.

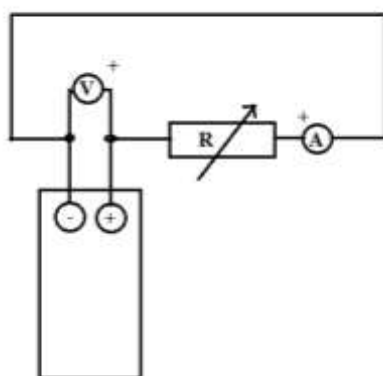


Рис. 2.5 Электрическая схема для измерения ВАХ в задании 2.2.

2.2a	Составьте таблицу соответствующих измерений U и I .	0.6
2.2b	Постройте график зависимости напряжения от силы тока.	0.8

2.3 Теоретическая ВАХ солнечного элемента

ВАХ солнечных элементов задается уравнением

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

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

2.3a	Определите I_{\max} , используя ВАХ из задания 2.2b.	0.4
------	--	-----

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

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

2.3b	Оцените область значений U , для которых указанное приближение выполняется. Определите графически значения 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 P_{\max} . Проведите несколько измерений, по которым определите P_{\max} для вашего солнечного элемента. (Вы можете использовать свои предыдущие измерения из задания 2.2.)	0.5
2.4b	Оцените оптимальное сопротивление нагрузки R_{opt} , т.е. полное внешнее сопротивление, при котором солнечный элемент рассеивает наибольшую мощность на R_{opt} . Опишите свой метод, приводя соответствующие вычисления. Оцените погрешность R_{opt} .	0.5

2.5 Сравнение солнечных элементов

Закрепите оба солнечных элемента (А и В) в держателе двух элементов в пазу №15, рис. 2.6.

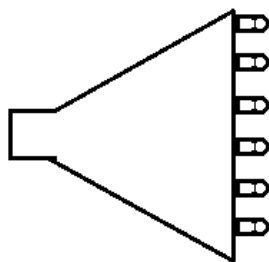


Рис. 2.6 Вид сверху на источник света и солнечные элементы в задании 2.5.

2.5a	<p>Для заданного освещения измерьте:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Наибольшую разность потенциалов U_A, которую можно измерить на солнечном элементе А. - Наибольшую силу тока I_A, который может течь через солнечный элемент А. <p>Сделайте то же самое для элемента В.</p>	0.5
2.5b	Нарисуйте электрические схемы для ваших цепей (показывающие подключение солнечных элементов и измерительных приборов).	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).

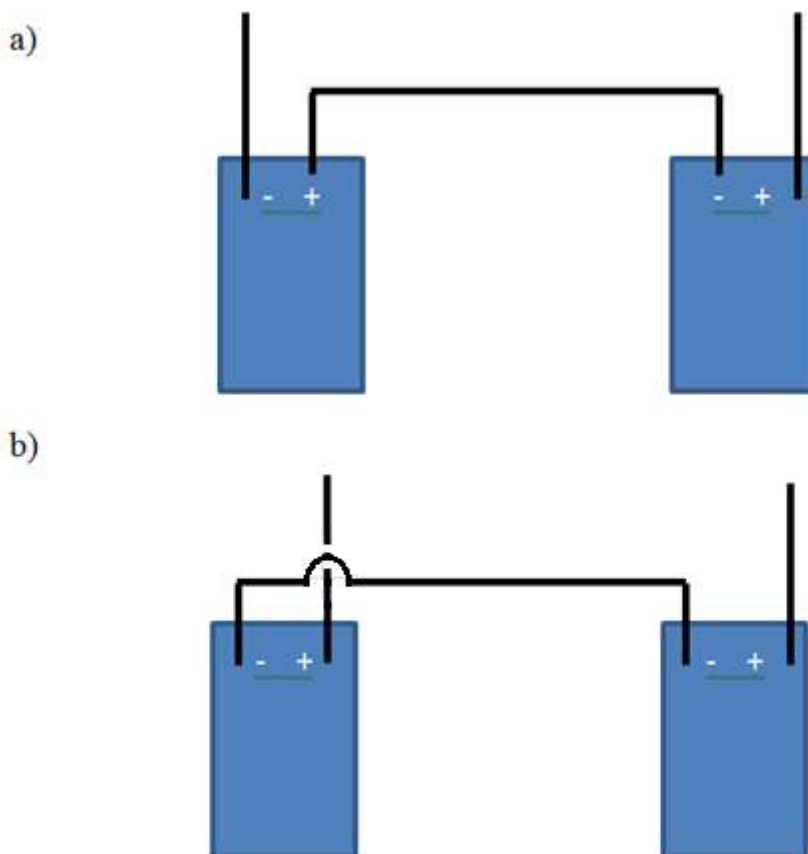


Рис. 2.7 Два способа последовательного соединения солнечных элементов для задания 2.6. Два способа их параллельного соединения не показаны.

2.6	<p>Определите, какой из четырех способов соединения двух солнечных элементов позволяет отдать во внешнюю цепь наибольшую мощность, когда один из элементов закрыт заслонкой (J на рис. 2.1).</p> <p>Подсказка: вы можете оценить максимальную мощность из максимального напряжения и максимального тока, измеренных для каждой конфигурации.</p> <p>Нарисуйте соответствующие электрические схемы.</p>	1.0
-----	--	-----

2.7 Влияние оптической кюветы на ток солнечного элемента

Закрепите источник света в коробке. Поместите солнечный элемент А в держатель одного элемента. Расположите солнечный элемент на расстоянии около 50 мм от источника света. Установите круговую диафрагму непосредственно перед элементом. Разместите пустой оптический сосуд непосредственно перед круговой диафрагмой, как показано на рис. 2.8.

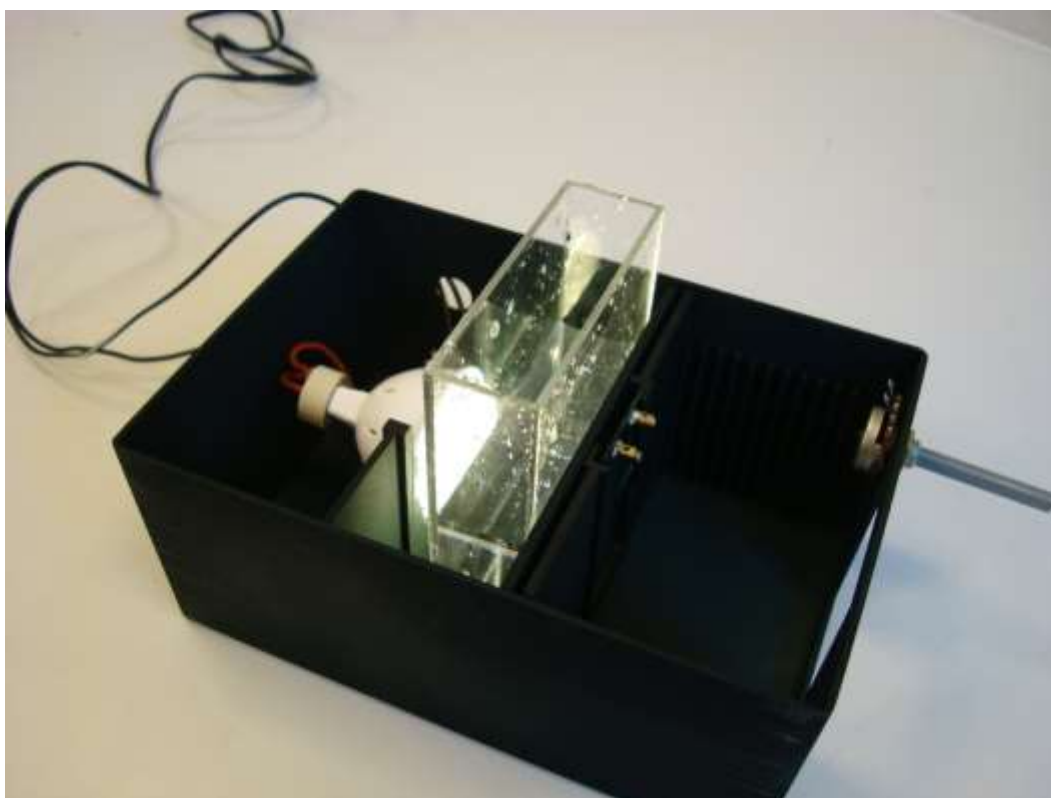


Рис. 2.8 Экспериментальная установка для задания 2.7.

2.7a	Измерьте силу тока I как функцию высоты уровня воды h в сосуде, рис. 2.8. Занесите данные в таблицу и постройте график.	1.0
2.7b	Объясните с помощью схематичных рисунков и символов почему график имеет именно такой вид.	1.0

Закрепите источник света в коробке. Поместите солнечный элемент А в держатель одного элемента. Расположите солнечный элемент на максимальном расстоянии от источника света. Разместите круговую диафрагму непосредственно перед солнечным элементом.

2.7c	Для этой конструкции выполните следующее: - Измерьте расстояние r_1 между источником света и солнечным элементом и ток I_1 . - Разместите пустой сосуд непосредственно перед круговой диафрагмой и измерьте ток I_2 . - Наполните сосуд водой почти доверху и измерьте ток I_3 .	0.6
2.7d	По измерениям из задания 2.7c, определите значение показателя преломления воды n_w . Опишите свой метод соответствующими схематическими рисунками и уравнениями. Вы можете включить какие-то дополнительные измерения.	1.6