

## 11 класс

### Задача №1. 532 нм

**Внимание! В задаче не требуется оценка погрешности в пунктах, в которых это не указано явно**

**Оборудование:** инфракрасный светодиод с припаянным ограничительным резистором, фотодиод с припаянным ограничительным резистором в светонепроницаемом кожухе, зеленая лазерная указка, батарейка «Крона» 9 В, батарейки АА 2 штуки, батарейный отсек для батареек АА, соединительные провода, переменный резистор 500 Ом, два мультиметра, две линейки 15 см, две линейки 50 см, длинный, средний и короткий алюминиевые профили, 3 трубки прищепки, 2 канцелярских зажима шириной 41 мм, 4 канцелярских зажима шириной 25 мм, дифракционная решетка 500 штр/мм, кювета с раствором марганцовки, пластилин, бумажный транспортир, черная изолента на столе и по требованию, ножницы.

Соберите схему для измерения фототока фотодиода в соответствии с рисунком 1 (а). Для этого подключите последовательно к батарейке Крона один из мультиметров в режиме амперметра и замкните цепь фотодиодом, подключив его в обратной полярности. Соберите также схему питания светодиода в соответствии с рисунком 1 (б).

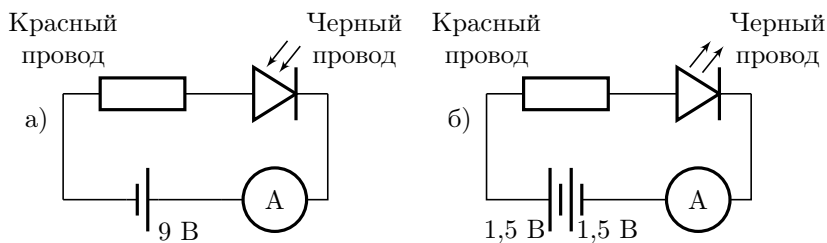


Рис. 1. Схемы подключения фотодиода и светодиода

**Внимание! Не подключайте светодиод к батарейке Крона! Это приведет к его выходу из строя. Дополнительный светодиод выдаваться не будет.**

Для проверки работоспособности схемы убедитесь, что через светодиод течет ток силой  $I_{\max} > 20$  мА. При помещении светодиода в светонепроницаемый кожух фотодиода сила тока через фотодиод увеличивается до значения не менее 100 мкА. Обратите внимание, что фотодиод может располагаться не на осевой линии светонепроницаемого кожуха.

Положите две линейки длиной 50 см на длинный профиль. Профиль с линейками прижмите к столу прищепками. Закрепите фотодиод и светодиód на линейках длиной 15 см (см. рис. 2), которые, в свою очередь, закрепите на алюминиевом профиле. Соберите установку в такой ориентации, чтобы свет от окна не попадал на поверхность фотодиода напрямую.

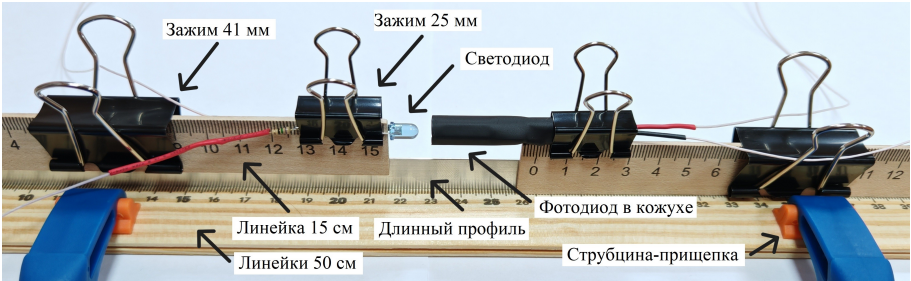


Рис. 2. Установка для проведения измерений

Вольт-амперная характеристика фотодиода, подключенного в обратной полярности, при двух разных освещённостях выглядит так, как показано на рис. 3. Начиная с напряжения  $\sim 2$  В вольтамперная характеристика выходит на насыщение по силе тока. Именно этот фототок и будет измеряться в задаче.

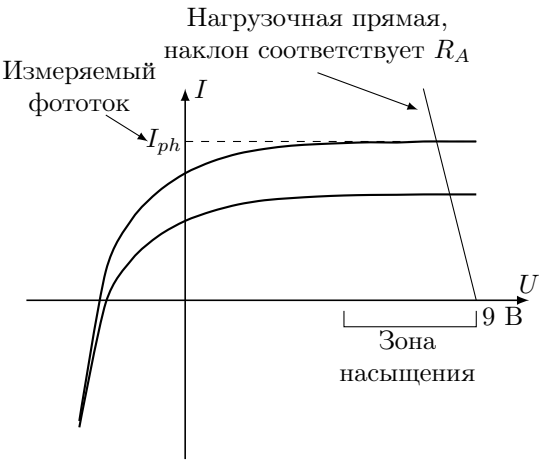


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика фотодиода

## Часть 1. Линейность фотодатчика

1.1. Измерьте зависимость фототока фотодиода от расстояния между поверхностью фотодиода и ближней к фотодиоду точкой светодиода. Измерительная поверхность фотодиода и линза светодиода при этом должны находиться на одном горизонтальном уровне.

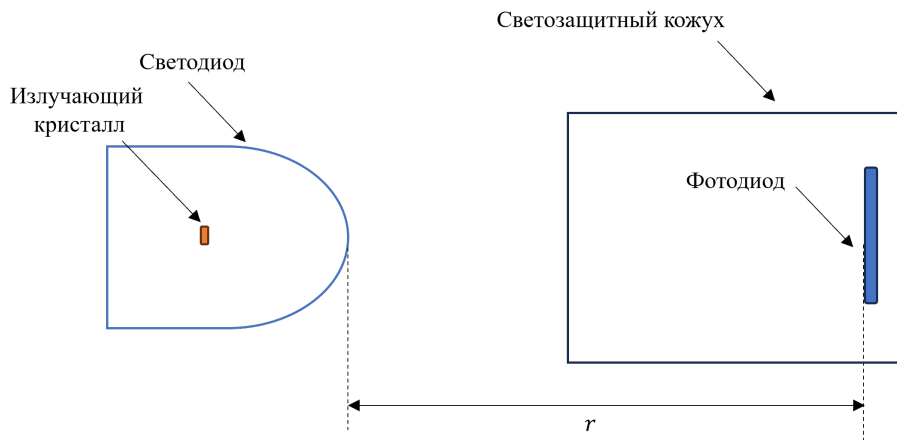


Рис. 4. Схема измерений

1.2. Разомкните цепь питания светодиода. Измерьте фоновое значение силы тока фотодиода с точностью не менее 5%. Оцените погрешность измерения. При необходимости модифицируйте измерительную схему.

1.3. Проверьте, является ли сила тока фотодиода пропорциональной интенсивности падающего на него света. Для этого постройте график измеренной зависимости в линеаризованном виде и сделайте соответствующий вывод.

## Часть 2. Линейность светодиода

Поставьте светодиод вплотную к фотодиоду (см рис. 5). Модифицируйте схему питания светодиода так, чтобы появилась возможность менять силу тока, текущего через светодиод в пределах от 0 до  $I_{\max}$ .

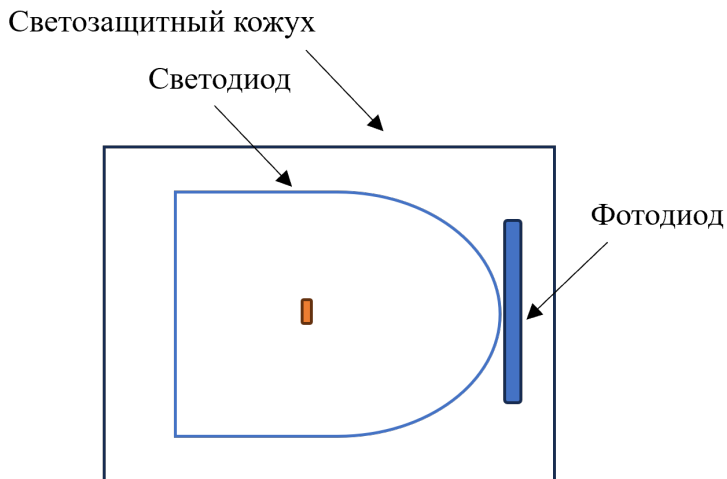


Рис. 5. Светодиод и фотодиод, установленные вплотную

2.1. Измерьте зависимость силы тока, текущего через фотодиод от силы тока, текущего через светодиод.

2.2. Постройте график измеренной зависимости. Сделайте вывод, можно ли считать, что график описывается прямой пропорциональностью во всем диапазоне измерений.

### Часть 3. Диаграмма направленности светодиода

Установите светодиод на край длинного алюминиевого профиля, так чтобы вершина линзы светодиода находилась в одной вертикальной плоскости с торцом профиля.

Фотодиод расположите на той же высоте, что и светодиод, закрепив его на среднем профиле так, чтобы измерительная поверхность фотодиода находилась на расстоянии 5 см от торца среднего по длине профиля.

Соберите из двух отрезков профиля гониометр (см. рис. 6).

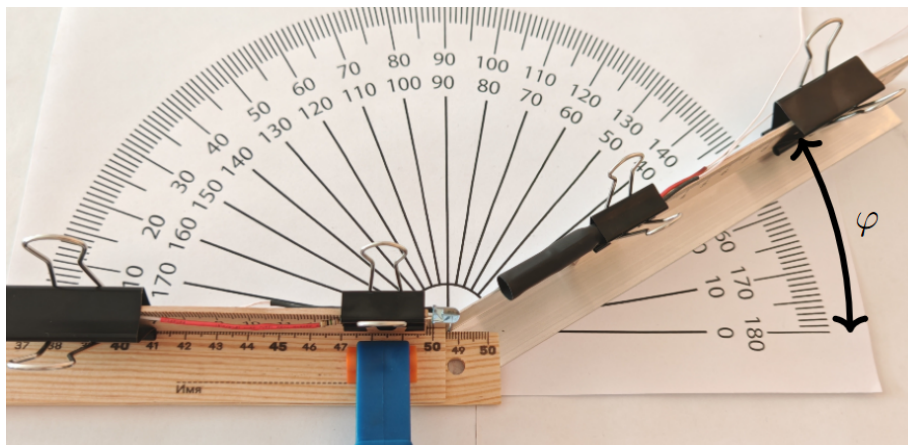


Рис. 6. Конструкция гониометра

3.1. Подайте на светодиод напряжение от двух батареек АА. Изменяя относительное положение фотодиода и светодиода, измерьте зависимость силы тока фотодиода от угла  $\varphi$  (см. рис. 6) между осью светодиода и линией, соединяющей вершину светодиода и центральную точку измерительной поверхности фотодиода.

3.2. Постройте график измеренной зависимости. Определите угол, соответствующий уменьшению фототока в 5 раз.

#### Часть 4. Спектр излучения светодиода

Заклейте дифракционную решетку изолентой так, чтобы осталась лишь вертикальная щель шириной приблизительно 2 мм. Не разбирая установку, расположите светодиод на расстоянии 5 см от торца длинного профиля. Установите на торце профиля дифракционную решетку.

Установите соосно излучению светодиода средний профиль с фотодиодом. Настройте положение дифракционной решетки так, чтобы показания фотодиода были максимальными.

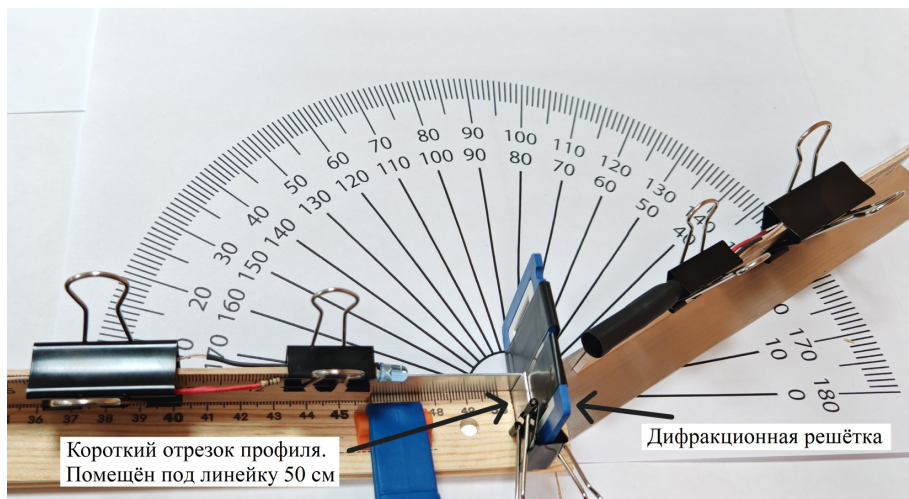


Рис. 7. Установка дифракционной решетки

Установка позволяет примерно измерить спектр излучения светодиода (см. рис. 8). Спектр излучения имеет максимум при длине волны  $\lambda_{led}$ .

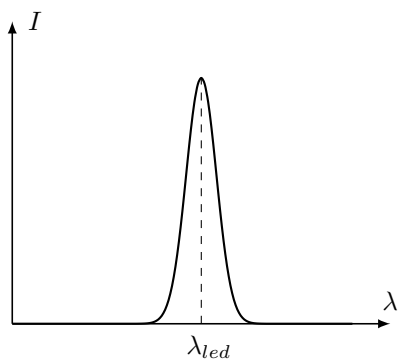


Рис. 8. Спектр светодиода

4.1. Изменяя относительное положение фотодиода и светодиода, определите угол  $\varphi_1$ , соответствующий первому дифракционному максимуму, отвечающему длине волны  $\lambda_{led}$ .

4.2. Рассчитайте длину волны максимума спектра излучения светодиода  $\lambda_{led}$ .

## Часть 5. Спектр излучения зеленого лазера

Установите вместо светодиода зеленый лазер (см. рис. 9). Для этого большим канцелярским зажимом закрепите лазер так, чтобы кнопка включения была постоянно нажата. Снимите дужки с зажима. Наденьте на зажим струбцину-прищепку, закрепив конструкцию на линейке длиной 15 см и профиле.

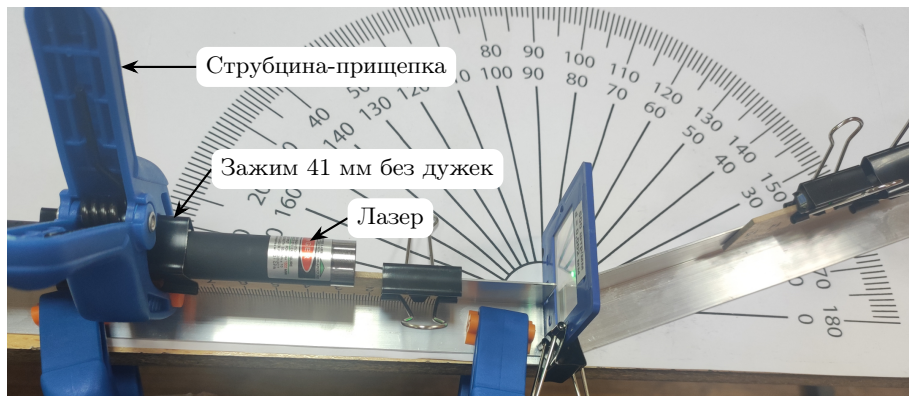


Рис. 9. Установка лазера

Снимите изоляцию с дифракционной решётки и установите дифракционную решётку обратно. Пригласите дежурного члена жюри для освобождения фотодиода от светозащитного кожуха. Закрепите фотодиод на расстоянии 10 см от дифракционной решётки.

5.1. Изменяя относительное положение фотодиода и лазера, измерьте зависимость силы тока фотодиода от угла между осью лазера и линией, соединяющей середину щели дифракционной решетки и центральную точку измерительной поверхности фотодиода. Для каждого положения фотодиода перекрывайте лазерный пучок у его выходного окна, например, с помощью батарейного отсека, и измеряйте фоновое значение силы тока. Проведите измерения в диапазоне от 0 до 40 градусов **через каждый градус**.

5.2. Рассчитайте разность фототока с лазерным излучением и без в нулевом положении фотодиода ( $I_{ph} - I_{ph0}$ ) ( $\varphi = 0$ ). Рассчитайте разность фототока с лазерным излучением и без во всем диапазоне измеренных углов ( $I_{ph} - I_{ph0}$ ) ( $\varphi$ ).

Постройте график натурального логарифма отношения измеренных величин  $\ln \frac{(I_{ph} - I_{ph0})(\varphi)}{(I_{ph} - I_{ph0})(\varphi = 0)}$  от угла  $\varphi$ . Будем называть данную зависимость спектром дифракционной картины.

5.3. Укажите углы максимумов спектра дифракционной картины (не включая нулевой). Какие из указанных углов соответствуют длине волны лазерного излучения в  $\lambda_1 = 532$  нм?

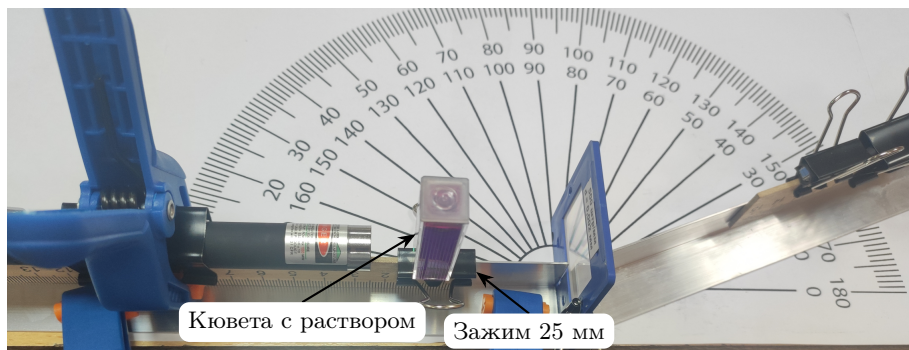


Рис. 10. Установка кюветы с раствором

5.4. Установите сразу после указки кювету с раствором марганцовки (см. рис. 10). Укажите, видно ли зеленое свечение зайчика от пучка лазера, прошедшего через марганцовку.

5.5. Вновь измерьте спектр дифракционной картины. Проведите измерения в диапазоне от 0 до 40 градусов.

5.6. Постройте график измеренного спектра.

5.7. Укажите длины волн пиков спектра излучения лазера. Объясните полученный ответ.