

Л/р № 21. Измерение длины волны света с помощью дифракционной решетки.

Цель работы: Найти длину волны света.

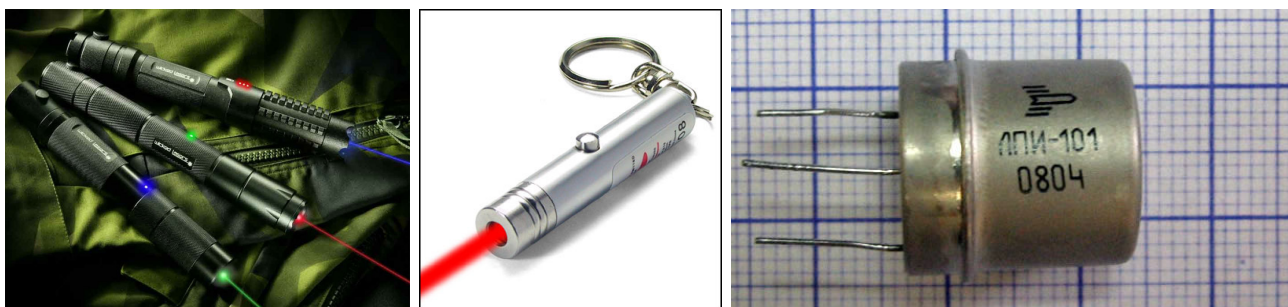
Оборудование: Лазерные указки небольшой мощности (5-15 мВт) различного цвета, дифракционная решетка, штатив, предметный столик, рулетка, небольшой кусочек изолянта или скотча.

Вводная часть:

1. Безопасность при использовании лазерного излучения.

Во время работы с лазером следует помнить, что **ПОПАДАНИЕ В ГЛАЗА ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КРАЙНЕ ОПАСНО ДЛЯ ЗРЕНИЯ.**

КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ НАПРАВЛЯТЬ ЛАЗЕР В СТОРОНУ ЛЮДЕЙ. ЛАЗЕР МОЖЕТ СВЕТИТЬ ТОЛЬКО НА СТЕНУ (ЭКРАН)!



2. Источник света - лазерная указка.

Лазер - англ. LASER — Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, «Усиление света с помощью вынужденного излучения».

В устройстве лазерной указки красного цвета используется светодиод, излучающий свет с $\lambda=670$ нм, легированный специальными добавками, для получения инверсной населенности энергетических уровней, при которой вынужденное излучение может превысить поглощение света, вследствие чего падающий свет (от светодиода) при прохождении через вещество будет усиливаться (см. параграф в учебнике физики "Лазеры").

Указки других цветов имеют несколько более сложное устройство. Среди них следует упомянуть следующие.

Оранжево-красные ($\lambda=635$ нм) диоды при той же мощности излучения являются более яркими для глаз, поскольку глаз более чувствителен к середине диапазона оптического излучения.

Зеленая указка с $\lambda=532$ нм в этом смысле хорошая альтернатива красной. Человеческий глаз чувствительнее к зеленому свету $\sim$ в 6000 раз по сравнению с красным светом.

Желто-оранжевые указки излучают свет с $\lambda=593.5$ нм, а синие лазерные указки - с $\lambda=473$ нм.

Излучение лазера принципиально отличается своими оптическими свойствами от привычного для нас свечения нагретых тел (Солнца, ламп накаливания). Для излучения лазера характерны:

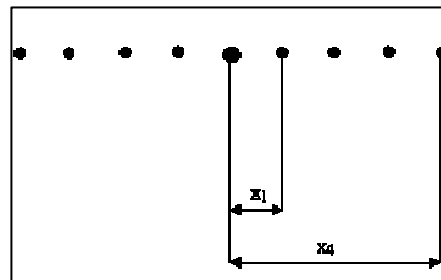
- 1) высокая степень монохроматичности (одноцветности);
- 2) высокая степень когерентности;
- 3) острая направленность (самофокусировка);
- 4) высокая яркость;
- 5) поляризация излучения.

Благодаря этим необычным свойствам лазерного излучения опыты по дифракции и интерференции света допускают проводить их при гораздо менее сложных условиях: не требуется тщательного затемнения, размеры препятствий могут быть не столь малыми, чтобы вносить сильные ограничения в яркость получаемых картин.

3. Дифракционная решетка.

Явление дифракции, в частности, приводит к огибанию световыми волнами препятствий, проникновению света в область геометрической тени и к отклонению от законов геометрической оптики. Дифракция, как и интерференция, служит доказательством волновой природы света.

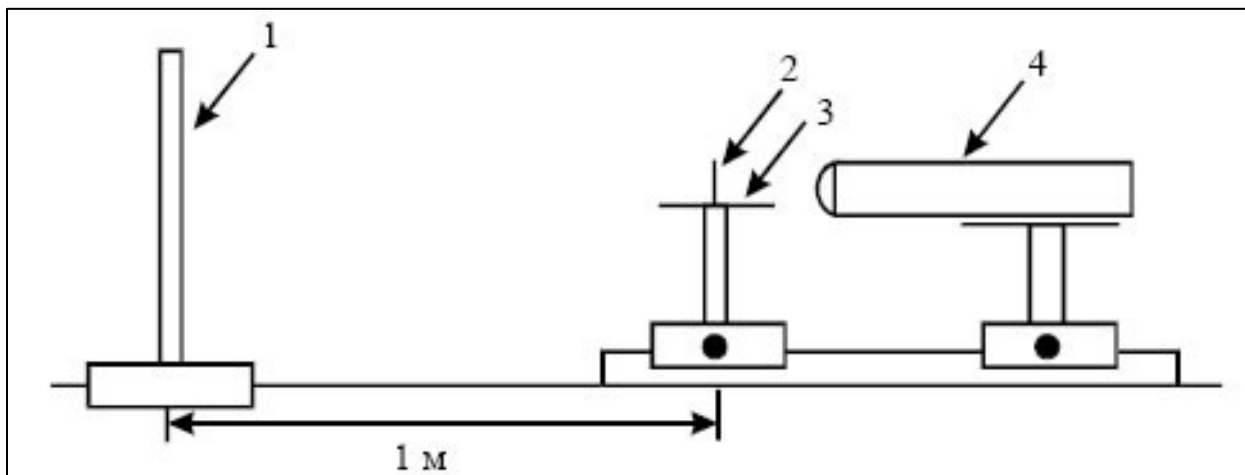
Объектом исследования в нашей работе является прозрачная одномерная дифракционная решетка. Это пластина из прозрачного материала (обычно из стекла или пластика), на поверхности которой каким-либо путем (механическим или фотоспособом) нанесено большое число параллельных



равноотстоящих непрозрачных штрихов. Основным параметром решетки является ее период d , равный расстоянию между серединами соседних щелей. Дифракционная решетка создает эффект резкого усиления интенсивности света в области максимумов, что делает ее незаменимым оптическим прибором.

Дифракционная картина, получаемая от решетки, определяется как результат взаимной интерференции световых волн, идущих от N щелей: $d \sin \varphi = k\lambda$, где $k = 0, 1, 2, \dots$ - называемое порядком максимума. В результате на экране мы увидим ряд светящихся точек: центральный самый яркий максимум, для которого $k = 0$, а также справа и слева от центрального максимума более бледные максимумы первого ($k = 1$), второго ($k = 2$), и большего порядка (см. рис. справа).

4. Установка.



Для наблюдений дифракции лучей лазера на дифракционной решетке нужно собрать следующую установку:

- 1) экран (или часть стены);
- 2) дифракционная решетка;
- 3) предметный столик;
- 4) лазерная указка, закрепленная в штативе.

Экран помещают на расстоянии не менее 1 м от указки, а лучше больше. При расстоянии 2 м нам легко удавалось получить значение длины волны с погрешностью менее 1%!

5. Ход работы:

1. Перед тем, как начать работу, еще раз ознакомьтесь с правилами техники безопасности (см. пункт 1 выше "Безопасность при использовании лазерного излучения").
2. Соберите установку (см. рис. выше слева), используя красный лазер. Луч лазера (4) должен светить в сторону от людей (например, в стену, которую допустимо использовать в качестве экрана). Дифракционную решетку пока не ставьте.
3. Нажмите кнопку лазера. Чтобы он светил непрерывно, нажатую кнопку можно зафиксировать кусочком изолянта или скотча. На экране вы увидите пятно от луча лазера, в котором при внимательном рассмотрении можно заметить многочисленные темные точки (моды) - явный признак лазерного, а не обычного излучения, т.е. обладающего перечисленными выше замечательными свойствами.
4. Поставьте на свое место дифракционную решетку. При правильном расположении дифракционной решетки и попадании луча лазера в центр дифракционной решетки вы увидите на экране вместо одного пятна, как было прежде, расположенный горизонтально ряд светящихся точек с центральным ярким максимумом (картина дифракции). Измерьте расстояние x_1 от середины главного максимума до середины первого (см. рис. выше справа). Таким же способом измерьте положение второго, третьего и четвертого максимумов (если они видны). Выключите лазер.
5. Занесите данные в таблицу измерений.
6. Измерьте расстояние L от лазера до экрана, запишите полученный результат в таблицу:

			Первый лазер				Второй лазер			
k	L	d	X	λ	$\lambda_{\text{ср}}$	$\Delta\lambda_{\text{ср}}$	X	λ	$\lambda_{\text{ср}}$	$\Delta\lambda_{\text{ср}}$
	мм	мм	мм	мкм	мкм	мкм	мм	мкм	мкм	мкм
1.										
2.										
3.										
4.										

7. Найдите на дифракционной решетке значение ее периода d (обычно для школьной решетки это 1/100 мм), занесите в таблицу.

8. Измените расстояние до стены на $\pm 20 \dots 30$ см и повторите все измерения при новом значении этого расстояния.

9. Замените красный лазер лазером другого цвета и сделайте те же самые измерения. Если в вашем распоряжении нет лазера другого цвета, пропустите этот пункт.

9. Произведите вычисления длины волны света λ в каждом случае. Для этого используйте формулу $d \sin \varphi = k\lambda$, где, очевидно, $\sin \varphi \approx X/L$.

10. Найдите среднее значение длины волны для красного цвета для ваших опытов

$$\lambda_{\text{к.ср.}} = (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)/4$$

и величину погрешности

$$\Delta\lambda_{\text{к.ср.}} = (\Delta\lambda_1 + \Delta\lambda_2 + \Delta\lambda_3 + \Delta\lambda_4)/4, \text{ где } \Delta\lambda_i = |\Delta\lambda_{\text{ср}} - \Delta\lambda_i|.$$

Если вы работали с лазерами разного цвета, найдите среднее значение длины каждой волны и величину погрешности. Найдите относительную погрешность измерений в %:

$$\varepsilon = (\Delta\lambda_{\text{ср}} \cdot 100\%) / \lambda_{\text{ср.}}$$

11. Сравните полученные вами значения с теми, что приведены для полупроводниковых лазеров каждого цвета в начале описания (см. пункт 2). Запишите результаты ваших измерений и вывод из л/р.

Контрольные вопросы:

1. Зарисуйте картину дифракции, полученную вами в работе. Рядом с каждым максимумом подпишите значение порядка этого максимума k .
2. Почему при использовании лазера в качестве источника света в нашей работе можно обойтись без собирающей линзы, обычно формирующей изображение дифракционной картины на экране?
3. Лазерный светодиод излучает каждый цуг волн в среднем в течение 5 пс, а газовый гелий-неоновый лазер - в течение 350 пс. Какой из лазеров дает излучение с более высокой степенью когерентности? Какова длина цуга волн каждого из этих лазеров? Оцените, какой ширины щель можно использовать для получения различимой картины дифракции для каждого из лазеров?
4. Как на опыте можно показать, что излучение лазера является поляризованным?