

Лабораторная работа 2 (1.2)

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТОВЫХ ВОЛН С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРА

Цель работы: ознакомление с принципом работы лазера; наблюдение интерференции света при отражении от толстой плоскопараллельной пластины; определение показателя преломления материала пластины.

Общие сведения

В данной работе в качестве источника света используется лазер. Его излучение отличается от излучения обычных источников рядом замечательных особенностей:

- 1) высокой степенью монохроматичности (временной когерентности);
- 2) пространственной когерентностью;
- 3) большой интенсивностью;
- 4) малой угловой расходимостью пучка.

Действие лазера основано на принципе усиления света за счет вынужденного (индуцированного) излучения. Рассмотрим, как это осуществляется на примере газового лазера, используемого в данной работе.

Основным элементом газового лазера является газоразрядная трубка. На рис. I показан общий вид трубки лазера на смеси гелия и неона. Здесь: 1 – катод; 2 – анод; 3 – рабочий капилляр трубки; 4 – выходные окна трубки (нормаль к плоскости окна составляет с оптической осью угол Брюстера, вследствие чего излучение лазера оказывается линейно-поляризованным); 5 – зеркала резонатора.

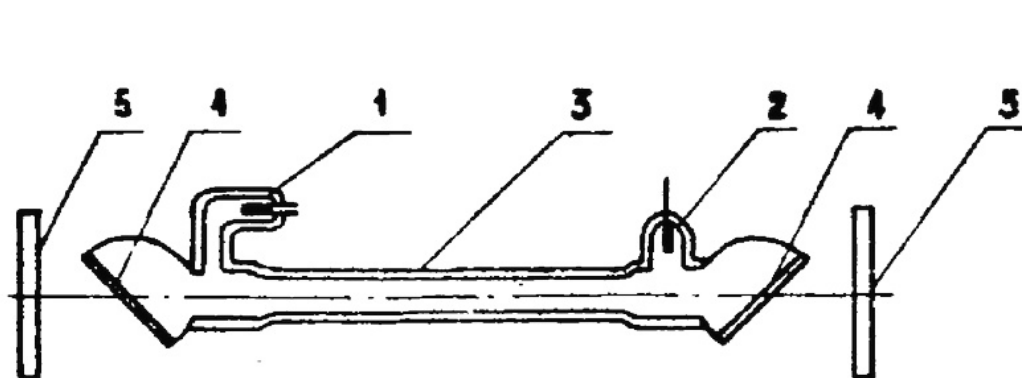


Рис. I

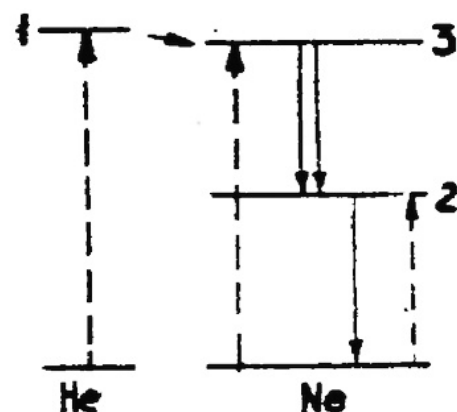


Рис. 2

На рис.2 показана предельно упрощенная схема энергетических уровней атомов неона Ne и гелия He . Рабочими (т.е., которые используются для генерации когерентного излучения) являются уровни 2 и 3. В процессе электрического разряда ударами электронов атомы He и Ne возбуждаются (пунктир на рис.2). Такое возбуждение называется электронным. Возбуждение уровня 3 неона возможно также за счет резонансной передачи энергии от возбужденных атомов гелия He и невозбужденным атомам неона. Это обусловлено близостью уровней 1 и 3, а также тем, что плотность гелия в трубках лазеров создается существенно большей, чем плотность неона. Уровень 3 неона – метастабильный, т.е. атомы на нем находятся достаточно долго. Таким образом, указанные процессы приводят к инверсной заселенности рабочих уровней – на уровне 3 атомов больше, чем на уровне 2.

Спонтанное (самопроизвольное) излучение отдельных атомов неона при переходе с уровня 3 на уровень 2 приводит к распространению в среде фотонов с энергией $h\nu$. Эти фотоны вызывают вынужденное излучение другими атомами неона таких же фотонов. В результате возникает каскад фотонов с одной и той же энергией. Для поддержания процесса распространения фотонов разрядная трубка помещена в зеркальный резонатор – систему из двух зеркал, расположенных у торцов трубки. Многократное прохождение излучения вдоль оси трубки приводит к формированию мощного направленного когерентного излучения лазера. Фотоны же, испущенные под углом к оси трубки, выходят через ее боковую поверхность, не участвуя в формировании лазерного пучка.

Зеркальный резонатор играет важнейшую роль при формировании лазерного пучка. Он обеспечивает большую плотность потока излучения, высокую степень монохроматичности и исключительную направленность пучка. Оба зеркала с многослойными диэлектрическими покрытиями обладают малыми коэффициентами пропускания: одно – около 0,1%, другое – около 2%. Тем не менее эти значения коэффициентов пропускания достаточны для выхода из лазера мощного потока излучения.

Высокая степень когерентности излучения лазера позволяет наблюдать интерференцию световых волн при очень большой разности хода. В данной работе интерферирующие лучи создаются за счет отражения от поверхностей толстой плоскопараллельной стеклянной пластинки P (рис.3). С помощью микроскопического объектива O создается расходящийся световой пучок. В фокальной плоско-

сти объектива расположен экран Э с круглым отверстием в центре, через которое проходит световой пучок. Отраженные от пластинки световые волны создают на экране интерференционную картину в виде концентрических светлых и темных колец.

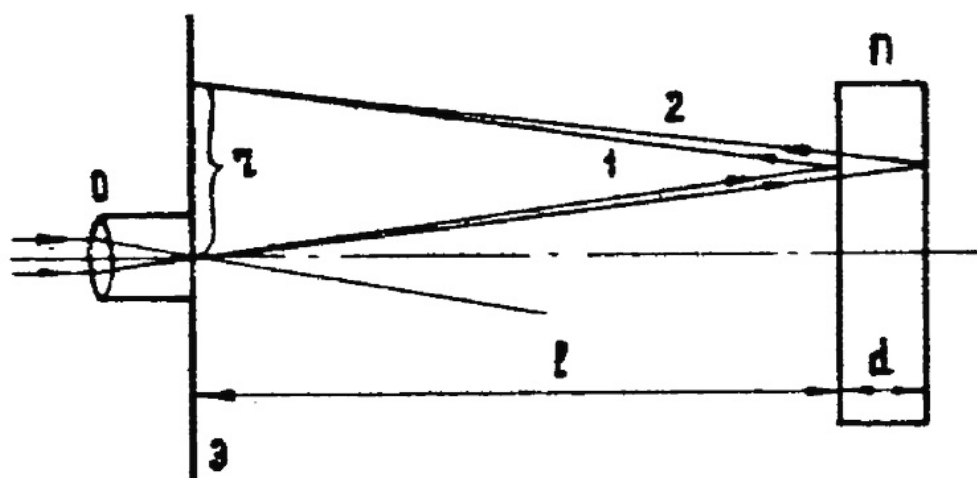


Рис. 3

Оптическая разность хода лучей 1 и 2 при условии $d \ll l$, $z \ll l$ (см. рис. 3) определяется выражением:

$$\Delta \approx 2dn + \frac{\lambda_0}{2} - \frac{z^2 d}{4nl^2},$$

где λ_0 — длина волны в вакууме; n — показатель преломления пластинки.

Для темных колец:

$$\Delta = (m + \frac{1}{2})\lambda_0,$$

где m — порядок интерференционного минимума ($m = 0, 1, 2, \dots$). Тогда радиус темного кольца, соответствующий минимуму m -го порядка определится выражением

$$z_m^2 = 8n^2 l^2 - \frac{4n \lambda_0 l^2}{d} m. \quad (1)$$

Между z_m^2 и m — линейная зависимость, причем при возрастании z_m порядок интерференции уменьшается. Таким образом, минимум наибольшего порядка наблюдается вблизи центра экрана.

Если перенумеровать кольца в порядке возрастания их радиусов, то между номером кольца N и квадратом его радиуса z_N^2 также будет линейная зависимость с коэффициентом пропорциональности, равным

$$K = \frac{4n \lambda_0 l^2}{d}. \quad (2)$$

Приборы и принадлежности

Оптическая скамья; лазерный излучатель с источником питания; круглый экран с объективом; стеклянная пластина, установленная в держателе; рейтеры для крепления излучателя, экрана и держателя; линейка.

Описание установки

С помощью рейтеров на оптической скамье установлены (рис.4) лазерный излучатель 1, экран с объективом 2, держатель со стеклянной пластиной 3. Лазерный излучатель 1 соединен с источником питания 4. Экран 2 можно выводить из лазерного пучка поворотом вокруг вертикальной оси. Положение экрана регулируется вращением винта В1 подвижной платформы. Ориентация стеклянной пластины осуществляется с помощью винтов В2 держателя.

ВНИМАНИЕ! Попадание в глаза прямого лазерного пучка опасно для зрения! При работе с лазером его свет можно наблюдать только после отражения от рассеивающих поверхностей.

Порядок выполнения работы

1. Собрать установку (см.рис.4).
2. Исключив возможность попадания лазерного пучка в глаза себе или окружающим, включить лазер (с помощью преподавателя).

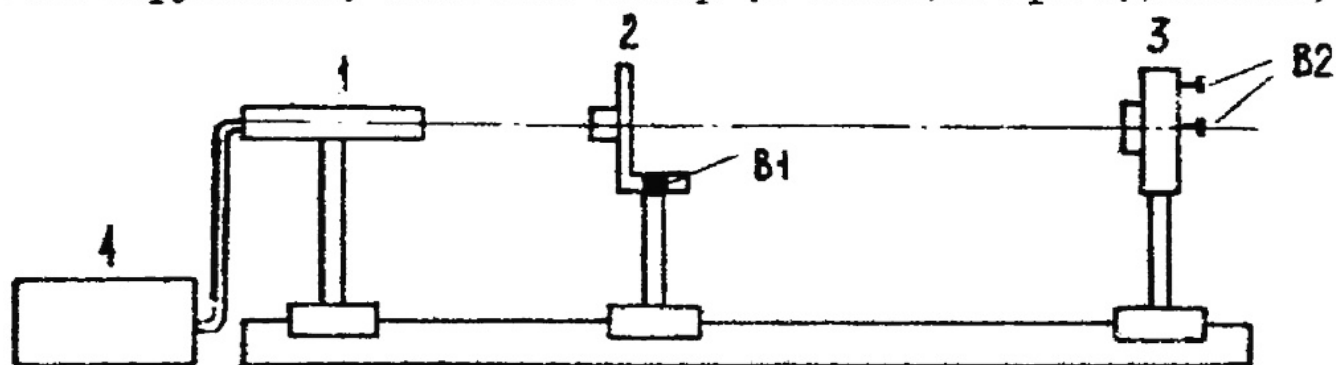


Рис.4

3. Произвести юстировку установки. Для этого вывести из хода пучка круглый экран, повернув его на 90° . Ориентировать стеклянную пластинку перпендикулярно к направлению пучка так, чтобы отраженный пучок падал в центр выходного отверстия лазера. Для ориентации использовать винты В2 держателя пластины. Затем ввести в ход пучка и тщательно отцентрировать объектив с круглым экраном. На экране должна появиться система концентрических светлых и темных колец. Центр этих колец должен совпадать с отверстием в центре круглого экрана. В случае необходимости произвести дополнительную юстировку с помощью винтов В2.

4. Выполнить измерения. Для этого установить расстояние ℓ в пределах 60..80 см (по указанию преподавателя). Перенумеровать (в рабочей тетради) темные кольца, радиусы которых подлежат измерению. Номера $N = 1, 2, 3, \dots$ приписывают темным кольцам в порядке возрастания их радиусов (номер $N = 1$ приписывают, например, первому темному кольцу вблизи отверстия экрана). После этого измерить радиусы первых 5...7 колец с помощью шкал на экране (для каждого кольца – четыре значения радиуса).

5. Произвести вычисления. Найти средние значения радиусов z_N и их квадраты z_N^2 . Построить график зависимости $z_N^2(N)$. Провести аппроксимирующую прямую. Определить тангенс угла наклона этой прямой к оси, на которой отложены значения N . Вычислить показатель преломления n , приравняв численное значение тангенса угла наклона коэффициенту k [см. формулу (2)]. При вычислениях обратить внимание на то, чтобы z_N , λ_0 , ℓ , d были взяты в одних и тех же единицах.

Толщина стеклянной пластины d указана на установке. Длина волны излучения для гелий-неонового лазера $\lambda_0 = 0,63$ мкм.

Вычислить максимальный порядок интерференционного минимума, который, как следует из (I), определяется формулой

$$m_{\max} = \frac{2dn}{\lambda_0}.$$

Контрольные вопросы

1. Что такое пространственная и временная когерентность?
2. В чем заключается принцип действия лазера?
3. Каковы характерные особенности лазерного излучения?
4. Что такое полосы равного наклона и равной толщины?
К какому типу относятся интерференционные кольца, наблюдаемые в данной работе?
5. Обосновать метод измерения показателя преломления, используемый в данной работе.
6. Каков порядок выполнения работы?
7. Изобразите интерференционную картину, которую Вы наблюдали и укажите, где находится интерференционный минимум наибольшего порядка.