

# Корнеев Николай Б04-005, Лабораторная работа №.4.5.3

## Сканирующий интерферометр

### Цель работы:

1. Ознакомиться с устройством и работой газового лазера непрерывного действия
2. Ознакомиться со спектральными характеристиками лазерного излучения
3. Разобраться с устройством и принципом действия сканирующего интерферометра Фабри-Перо
4. Определить межмодовое расстояние и приборную ширину отдельной моды излучения лазера
5. Оценить газокинетическую температуру в разряде
6. Рассчитать дисперсионную область, разрешающую способность и коэффициент отражения зеркал сканирующего интерферометра

### Оборудование:

1. He-Ne-лазер с блоком питания
2. сканирующий интерферометр Фабри-Перо
3. поляроид
4. пластинка  $\lambda/4$
5. линза
6. фотодиод
7. электронный осциллограф

### Теоретическая справка:

1. Лазер, или оптический квантовый генератор, — источник квазимонохроматического и узконаправленного высококогерентного потока излучения, работающий за счёт квантово-механического эффекта индуцированного излучения.

Главными элементами лазера являются оптический резонатор и расположенная в нём активная среда, способная усиливать проходящее через неё излучения. В He-Ne-лазерах используются резонаторы, фактически представляющие собой резонатор Фабри—Перо (информация о нем представлена ниже в описании установки). Его устройство представляет два плоских зеркала с высокими коэффициентами отражения, размещённых параллельно друг другу на фиксированном расстоянии

Сканирующий интерферометр, применяемый в настоящей работе, имеет зеркала с коэффициентом отражения  $r \approx 98,5\%$ , поэтому с его помощью можно разрешить две узкие спектральные линии, отличающиеся по частоте на величину порядка  $\sim 0,005\Delta\nu$ . Таким образом, наш сканирующий интерферометр вполне подходит для исследования модового состава лазерного излучения.

### Описание установки:

#### 2. (а) Резонатор Фабри-Перо

Данная установка представляет из себя 2 отполированные (стеклянные или кварцевые) пластины, которые установлены  $\parallel$  друг другу на некотором расстоянии. На одну из поверхностей каждой из 2-х пластин нанесено отражающее покрытие.

Интерференционные максимумы будут наблюдаться для волн, падающими под углами  $\theta_m$  и удовлетворяющие условию (где  $L$  - база интерферометра)

$$2L\cos\theta_m = m\lambda \quad m \in N \quad (1)$$

В нашем случае, мы можем считать, что  $m \approx M = \frac{2L}{\lambda}$ , поскольку в нашем случае зеркала расположены перпендикулярно лучу лазера.

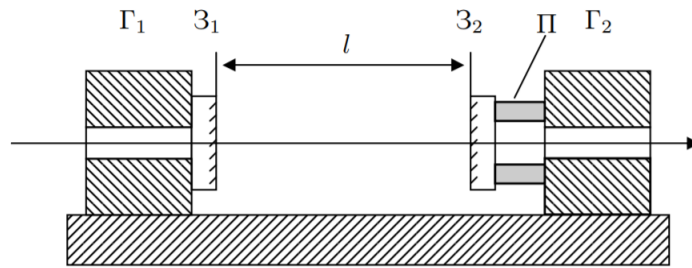


Рис. 1: Сканирующий интерферометр

#### (b) Сканирующий интерферометр

На жёстком массивном основании расположены две юстировочные головки  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ , на которых укреплены зеркала  $З_1$  и  $З_2$ . Зеркало  $З_1$  установлено непосредственно на головке  $\Gamma_1$ , зеркало  $З_2$  связано с головкой  $\Gamma_2$  через пьезокерамический элемент  $\Pi$ . Юстировочные головки снабжены винтами, не показанными на рисунке, которые позволяют в небольших пределах поворачивать зеркала относительно вертикальной и горизонтальной осей. С помощью головок  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  зеркала выставляются на параллельность. Пьезокерамический элемент  $\Pi$  позволяет периодически изменять базу интерферометра ( $l=10$  см) на величину порядка длины световой волны, чтобы изменять пропускающую частоту. Элемент имеет форму полого цилиндра. Его внутренняя и наружная поверхности металлизированы и образуют цилиндрический конденсатор. Если вдоль оси интерферометра распространяется световое излучение с длиной волны  $\lambda$ , то при выполнении условия

$$2l = m\lambda \quad (2)$$

Что аналогично условию для лазера, возникает резонанс.

Собственные моды интерферометра, называемые дисперсионной областью, отличаются на величину

$$\Delta\nu = \frac{c}{2L}$$

Они соответствуют нескольким резонансам при излучении разными длинами волн.

В единицах  $\lambda$ :

$$\Delta\lambda_{\text{си}} = \frac{\lambda^2}{2l} \quad (3)$$

Разрешающая способность интерферометра Фабри-Перо задается выражением:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} \quad (4)$$

где  $\delta\lambda$  – минимальная разность длины волн, разрешаемая прибором вблизи длины волны  $\lambda$

Разрешающая способность интерферометра Фабри-Перо зависит от длины интерферометра  $l$  и коэффициента отражения зеркал

$$R = \frac{2\pi l}{\lambda(1 - r)} \quad (5)$$

(с) **Описание установки для исследования спектрального состава излучения лазера (далее рабочая установка)**

Излучение He–Ne-лазера проходит через поляризационную развязку и

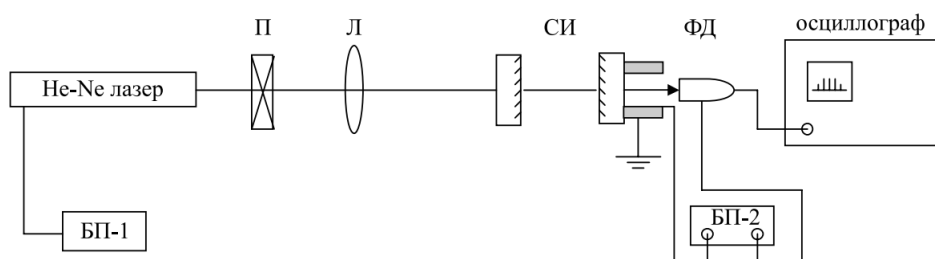


Рис. 2: Рабочая установка

линзу (попадание на развязку предотвращает попадание в лазер излучения, отразившегося от элементов оптического тракта, линза собирает пучок, чтобы он меньше расходился), и далее поступает на вход сканирующего интерферометра. Поляризационная развязка предотвращает попадание в лазер излучения, отразившегося от элементов оптического тракта.

Излучение, прошедшее сквозь сканирующий интерферометр, поступает на фотодиод ФД. Напряжение с фотодиода через усилитель подаётся на вертикальный вход электронного осциллографа.

Лазер питается от блока питания БП-1, фотодиод и усилитель – от БП-2. Напряжение на пьезоэлемент регулируется ручкой 1 и подается с БП-2

### 3. Параметры установки:

- (а) Длина лазера  $L = 65$  см
- (б) Длина интерферометра  $l = 9$  см
- (с) Длина волны лазера  $\lambda = 632.8$  нм

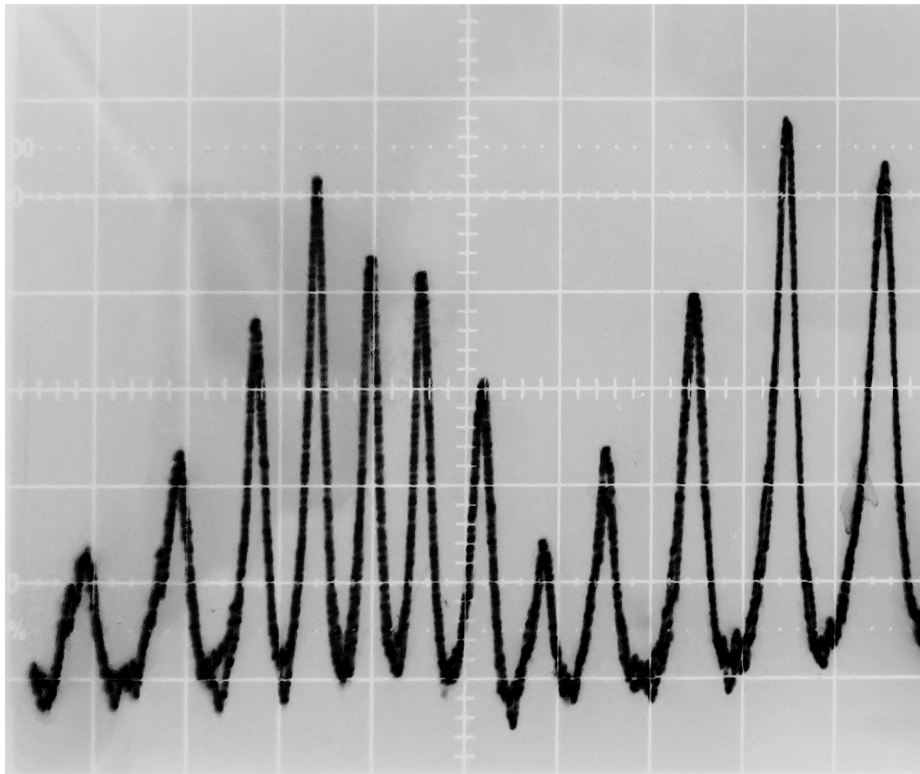
### Ход работы:

1. Займемся калибровкой: линзу, находящуюся под лучом, временно выведем с помощью поперечных салазок. Далее совместим прямой и отражённый пучки, осторожно вращая винты 1 и 2 на первом (по ходу луча) зеркале интерферометра: два пятна на пластинке  $\lambda/4$  должны совпадать. Затем винтами 1 и 2 второго зеркала совместим пятна на первом зеркале. Настроим поляризационную развязку.
2. Вращая ФД вверх-вниз и в сторону получим на экране осциллограмму. Добьемся максимального сигнала.
3. Введем линзу, для уменьшения расходимости пучка.
4. Рассчитаем межмодовое расстояние лазера в единицах  $\nu$  и  $\lambda$

$$\Delta\nu = \frac{c}{2L} = \frac{c}{1.3} \text{ Hz} \approx 231 \text{ MHz}$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \approx 4.7376 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\Delta\lambda = \lambda \frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{\lambda^2}{2L} = \frac{(632.8 \cdot 10^{-9})^2}{1.3} \approx 3.08 \cdot 10^{-13} \text{ м}$$



5. Рассмотрим осциллограмму: Видим, что ширина спектральной линии неона  $\Delta\nu_{Ne}$  при числе промежутков  $n = 6$  равна:

$$\Delta\nu_{Ne} = 6\Delta\nu = 6 \cdot 231 \approx 1.38 \text{ GHz}$$

$$\Delta\lambda_{Ne} = 6\lambda = 6 \cdot 3.08 \cdot 10^{-13} \approx 18.4 \cdot 10^{-13} \text{ м}$$

6. Положим, что ширина спектральной линии обусловлена эффектом Доплера и что видимая ширина линии неона порядка полуширины доплеровского контура ( $2\Delta\lambda_D \approx \Delta\lambda_{Ne}$ ). Тогда оценим среднюю скорость атомов неона  $v_x$  газокинетическую температуру по формулам:

$$\frac{mv_x^2}{2} = \frac{kT}{2} \quad \frac{\Delta\nu_D}{\nu} \approx \frac{v_x}{c}$$

Получим:

$$v_x \approx c \frac{\Delta\nu_{Ne}}{2\nu} = \frac{c \cdot 0.69 \cdot 10^9}{4.737 \cdot 10^{14}} \approx 437 \text{ м/с}$$

$$T \approx \frac{3.3532 \cdot 10^{-26} \cdot 190969}{13.8} \approx 464 \text{ К}$$

Рассчитаем дисперсионную область  $\Delta\lambda_{СИ}$  по формуле 3:

$$\Delta\lambda_{СИ} = \frac{\lambda^2}{2l} = \frac{632.8^2 \cdot 10^{-18}}{2 \cdot 0.09} \approx 2.2 \cdot 10^{12} \text{ м}$$

При сравнении со значением шириной линии неона  $\Delta\lambda_{Ne} \approx 1.8 \cdot 10^{-12}$  видим, что значения весьма близки

7. Сравним ширину моды на полувысоте с межмодовым расстоянием, найдем разрешающую способность  $R$  по формуле (4).

На графике  $2\delta\nu = 0.2$  дел,  $\Delta\nu = 0.65$  дел, поэтому

$$\delta\nu = \frac{0.1}{0.65} \Delta\nu$$

Тогда

$$\delta\lambda = \delta\nu = 0.15 \cdot 3.08 \cdot 10^{-13} \approx 5 \cdot 10^{-14} \text{ м}$$

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = \frac{6.3 \cdot 10^{-7}}{5 \cdot 10^{-14}} = 1.26 \cdot 10^7 \approx 10^7$$

8. Сделаем оценку коэффициента отражения  $r$  по формуле (5):

$$r = 1 - \frac{2\pi l}{\lambda R} = \frac{2\pi \cdot 0.09}{6.3 \cdot 10^{-7} \cdot 10^7} \approx 0.9$$

### Выводы:

1. Мы определили межмодовое расстояние  $\Delta\nu = 231 \text{ МГц}$ ,  $\Delta\lambda = 3.08 \cdot 10^{-13} \text{ м}$
2. Определили приборную ширину отдельной моды излучения лазера  $\Delta\nu_{Ne} = 1.38 \text{ ГГц}$ ,  $\Delta\lambda_{Ne} = 18.4 \cdot 10^{-13} \text{ м}$
3. Рассчитали газокинетическую температуру  $T = 464 \text{ К}$
4. Дисперсионная область:  $\Delta\lambda_{СИ} = 2.2 \cdot 10^{12} \text{ м}$
5. Разрешающая способность  $R = 1.26 \cdot 10^7$
6. Коэффициент отражения  $r = 0.9$