

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Отчёт по лабораторной работы 4.5.3
Сканирующий интерферометр

Выполнил студент:

Сери́ков Алексе́й Рома́нович

группа: Б03-103

Москва, 2023 г.

Аннотация

Цель работы:

Знакомство с устройством и работой газового лазера непрерывного действия, со спектральными характеристиками лазерного излучения, а также с устройством и принципом действия сканирующего интерферометра Фабри–Перо.

В работе используются:

He-Ne лазер с блоком питания; сканирующий интерферометр Фабри–Перо; поляроид; пластинка $\lambda/4$; линза; фотодиод; электронный осциллограф.

Теоретическая справка:

Устройство He-Ne-лазера.

Основным элементом He-Ne лазера непрерывного действия является газоразрядная трубка Т (рис. 1).

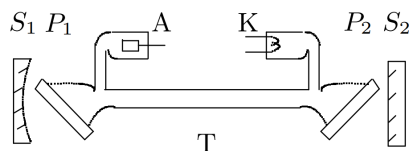


Рис. 1: Устройство гелий-неонового лазера

Трубка наполнена смесью гелия и неона. Концы трубки закрыты плоскопараллельными стеклянными или кварцевыми пластинами Р1 и Р2, установленными под углом Брюстера к ее оси. Линейно поляризованный свет с электрическим вектором, лежащим в плоскости падения, не испытывает потерь на отражение, вследствие этого лазер генерирует линейно поляризованное излучение. В загнутых концах трубки располагаются анод А и катод К. Разряд в трубке возникает при напряжении 1,5–2 кВ. Трубка помещена между зеркалами S1 и S2, образующими интерферометр Фабри–Перо, который играет роль оптического резонатора.

В интерферометрах Фабри–Перо, используемых в лазерах, излучение распространяется вдоль оси интерферометра. Если на полном оптическом пути $2L$, где L — расстояние между зеркалами, укладывается целое число длин волн, наступает резонанс. Условие резонанса имеет вид:

$$2L = m\lambda. \quad (1)$$

m - целое число.

Различным значениям порядка интерференции m соответствуют стоячие волны разных частот. Их называют типами колебаний, или модами. Из (1) легко получить выражение для межмодового расстояния $\Delta\nu$ (в единицах частоты):

$$\Delta\nu = \frac{c}{2L}. \quad (2)$$

c - скорость света.

Сканирующий интерферометр.

В работе используется сканирующий интерферометр, представляющий собой высокодобротный интерферометр Фабри–Перо с периодически изменяемой базой. Его устройство схематически показано на рис. 2.

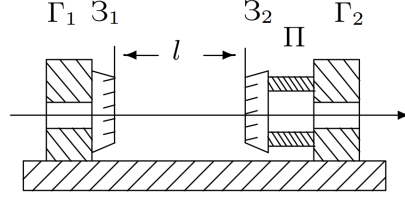


Рис. 2: Устройство сканирующего интерферометра

Если вдоль оси интерферометра распространяется световое излучение с длиной волны λ , то при выполнении условия

$$2l = m\lambda. \quad (3)$$

m - целое число, аналогичного условию (1) для лазера, возникает резонанс

Собственные моды интерферометра отличаются по частоте на величину

$$\Delta f = \frac{c}{2l}. \quad (4)$$

Величина Δf называется дисперсионной областью спектрального прибора. В единицах λ дисперсионная область сканирующего интерферометра равна

$$\Delta\lambda_{\text{си}} = \frac{\lambda}{m} = \frac{\lambda^2}{2l}. \quad (5)$$

В нашей работе интерферометр Фабри–Перо используется как спектральный прибор высокой разрешающей силы. Разрешающая способность R спектрального прибора определяется отношением

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}. \quad (6)$$

где $\delta\lambda$ — минимальная разность длин волн, разрешимая прибором вблизи длины волны λ . Или

$$\Delta f = \nu \frac{\delta\lambda}{\lambda} = \frac{c(1-r)}{2\pi l}. \quad (7)$$

При определении $\delta\lambda$ обычно используют критерий разрешения Релея. Разрешающая способность интерферометра Фабри–Перо зависит от длины интерферометра l и коэффициента отражения зеркал r :

$$R = \frac{2\pi l}{\lambda(1-r)}. \quad (8)$$

Ход работы и обработка результатов.

1. Рассчитаем межмодовое расстояние резонатора ОКГ в единицах ν и λ , используя формулу (2). Длина лазера $L = 65$ см ; $\lambda = 632.8$ нм.

2. Сосчитав число промежутков между модами на экране, оценим видимую ширину спектральной линии неона $\Delta\lambda(Ne)$:

Полагая, что ширина спектральной линии обусловлена эффектом Доплера и что видимая ширина линии неона порядка полуширины доплеровского контура ($\Delta\lambda(Ne) \approx \Delta\lambda_D$), оцените среднюю скорость атомов неона v_x и газокINETическую температуру T в разряде:

$$\frac{\Delta\lambda_D}{\lambda} \simeq \frac{v_x}{c}. \quad (9)$$

$$\frac{mv_x^2}{2} \simeq \frac{kT}{2}. \quad (10)$$

Здесь v_x — скорость молекул неона вдоль оси лазера; $m_{Ne} = 20,2$ а. е. м.; 1 а. е. м. $= 1,66 \cdot 10^{-24}$ г.

3. Рассчитаем дисперсионную область $\Delta\lambda_{СИ}$ сканирующего интерферометра по формуле (4) для $l = 9$ см и сравним её с видимой шириной линии неона $\Delta\lambda(Ne)$.

4. Сравнив ширину отдельной моды на полувысоте с межмодовым расстоянием, оценим разрешение $\delta\lambda$ сканирующего интерферометра и разрешающую способность R по формуле (5). Оценим коэффициент отражения зеркал интерферометра r по формуле (6).

Приведем результаты в таблице ниже:

| $\Delta\lambda$, нм | $\Delta\nu$, МГц | $\Delta\lambda(Ne)$, нм | v_x , м/с | T , К | $\Delta\lambda_{СИ}$, нм | $\delta\lambda$, нм | R | r |
|----------------------|-------------------|--------------------------|-------------|---------|---------------------------|----------------------|------------------|-------------|
| $3.08 \cdot 10^{-4}$ | 230 | $9.24 \cdot 10^{-4}$ | 435 | 515 | 3515 | $0.44 \cdot 10^{-4}$ | $145 \cdot 10^4$ | ≈ 1 |

Таблица 1: Таблица с результатами подсчёта.

На рис.3 график с осциллографа.

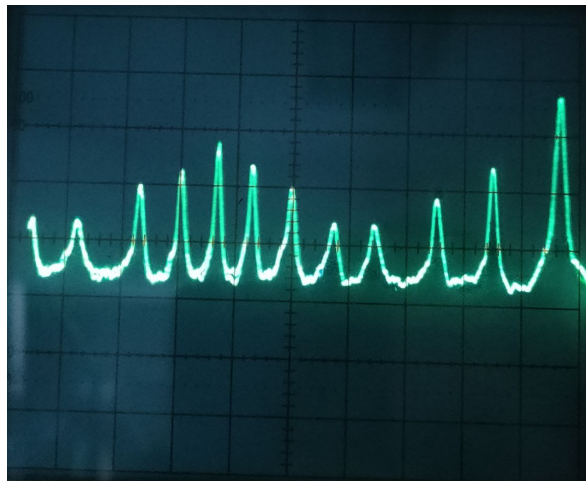


Рис. 3: Данные с осциллографа

Обсуждение результатов и выводы:

В работе мы исследовали доплеровский контур спектральной линии: определили межмодовое расстояние и приборную ширину отдельной моды излучения лазера; оценили газокинетическую температуру в разряде; рассчитали дисперсионную область, разрешающую способность и коэффициент отражения зеркал сканирующего интерферометра. Результаты схожи с табличными данными.