

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий



Лабораторная работа № 4.5.3 СКАНИРУЮЩИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР

Авторы:
Голенских Никита
Аль Мажариш Гасем
гр. Б01-205

Долгопрудный 2024

Содержание

1	Аннотация	2
1.1	Цель работы	2
1.2	Оборудование	2
2	Теоретическая часть	2
2.1	Спектр лазера	2
2.2	Сканирующий интерферометр	2
2.3	Экспериментальная установка	4
3	Ход работы	4
4	Обсуждение результатов	5

1 Аннотация

1.1 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.

1.2 Оборудование

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

2 Теоретическая часть

2.1 Спектр лазера

В He-Ne-лазерах используются резонаторы, фактически представляющие собой интерферометр Фабри—Перо. Излучение распространяется вдоль оси интерферометра. При этом генерируются моды (типы колебаний), для которых на длине резонатора укладывается целое число полуволен (L – база интерферометра):

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

Из этой формулы получаем разность частот соседних мод

$$\nu_{m+1} - \nu_m = \frac{c}{2L} \quad (2)$$

Для интерферометра с базой $L = 0,6$ м межмодовое расстояние равно 250 МГц. В то же время спектральная линия рабочего перехода неона имеет ширину порядка 1500 МГц, поэтому возможна одновременная генерация нескольких мод. Рис. 1 иллюстрирует увеличение числа мод генерации лазера с ростом усиления активной среды.

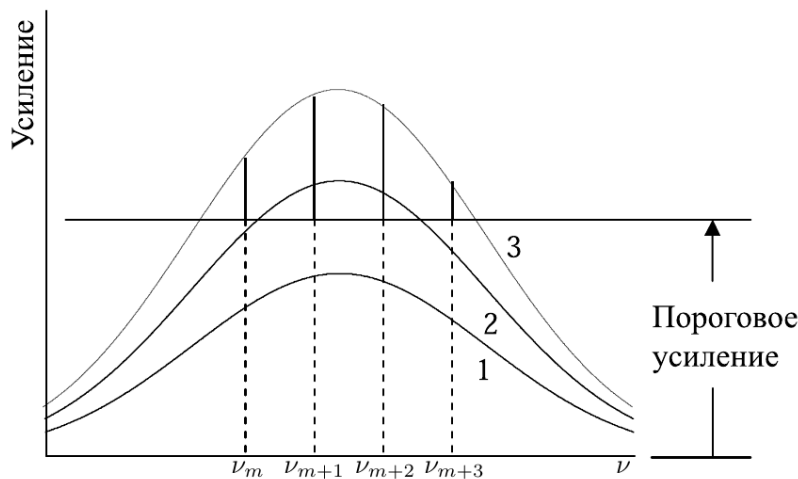


Рис. 1: Увеличение числа генерирующих мод при увеличении усиления

При небольшом усилении (кривая 1) генерации нет. В случае 2 генерация происходит только на 2 частотах ν_{m+1} и ν_{m+2} , расположенных вблизи центра спектральной линии. Если усиление определяется кривой 3, генерация возникает на четырёх частотах от ν_m до ν_{m+3} . Говорят, что в этом случае лазер одновременно работает на четырёх модах.

Для гелий-неонового лазера с достаточно длинной трубкой на переходе 632.8 нм многомодовая генерация является обычным режимом работы.

2.2 Сканирующий интерферометр

Для исследования межмодового состава излучения He-Ne-лазера в работе используется сканирующий интерферометр, представляющий собой высокодобротный интерферометр Фабри—Перо с периодически изменяемой базой. Его устройство схематически показано на рис. 2.

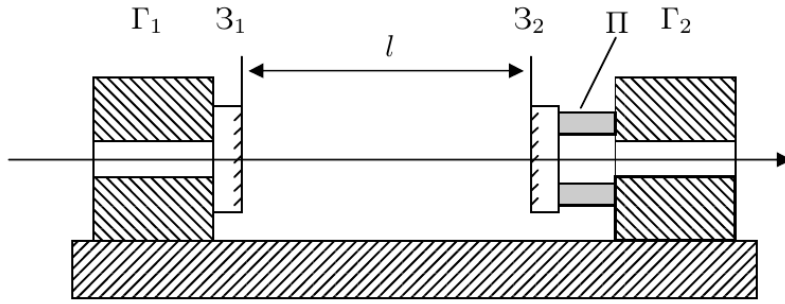


Рис. 2: Устройство сканирующего интерферометра

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

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

возникает резонанс, и внешнее излучение полностью проходит через интерферометр. Собственные моды интерферометра отличаются по частоте на величину

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

или в единицах λ

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

Пьезокерамический элемент П периодически изменяет длину интерферометра на величину порядка λ , благодаря чему “плавает” l , и, соответственно, частота сканирования интерферометра. Если амплитуда колебания зеркала небольшая ($\leq \lambda/2$), то размытые спектральные пики не перекрываются, и мы получаем одинарную развертку. При больших амплитудах развертка клонируется (начинается сканирование следующей модой интерферометра), и получается многократная развертка спектра (см. рис. 3)

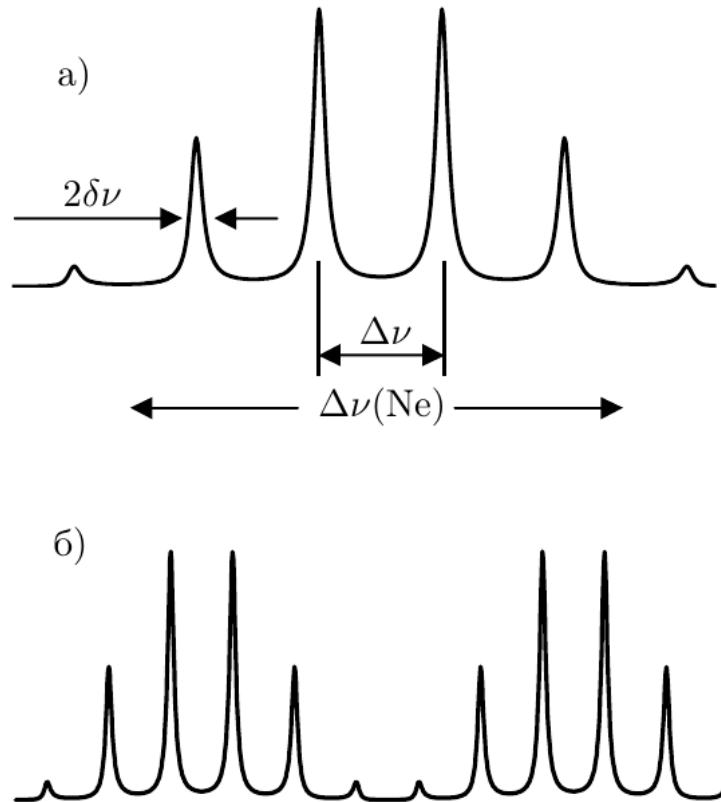


Рис. 3: Раздвоение развертки при большой амплитуде колебания зеркала

2.3 Экспериментальная установка

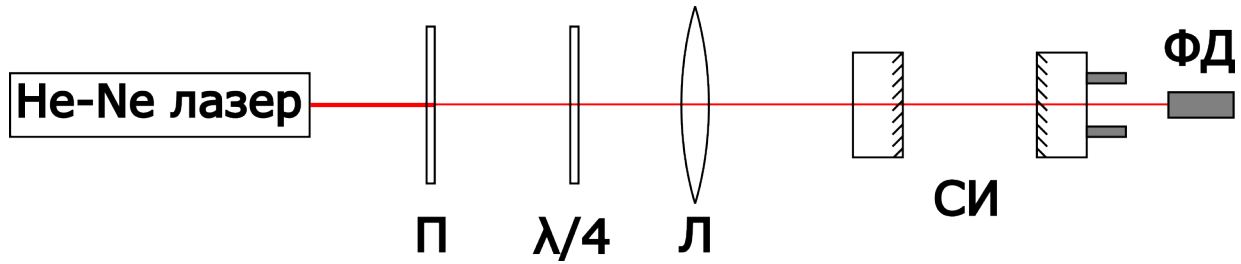


Рис. 4: Схема установки

Луч лазера проходит через поляризационную развязку, состоящую из поляроида и пластинки $\lambda/4$. Главное направление пластинки $\lambda/4$ повернуто на 45° относительно главного направления поляроида, вследствие чего луч на выходе приобретает циркулярную поляризацию. При отражении от линзы или зеркал, круговая поляризация меняет направление, и после прохождения через пластинку $\lambda/4$ приобретает линейную поляризацию, перпендикулярную разрешенному направлению поляроида. Таким путем ограничивается световой поток обратно в лазер, благодаря чему добивается лучшее усиление в трубке лазера.

Линза уменьшает расхождения пучка, поступающего на вход интерферометра. Амплитуда колебания заднего зеркала регулируется через блок питания, а сигнал с фотодиода разворачивается на осциллографе, давая спектр излучения.

3 Ход работы

1. Параметры установки:

База интерферометра: $l = 9$ см

База лазера: $L = 65$ см

Длина волны излучения: $\lambda = 623.8$ нм

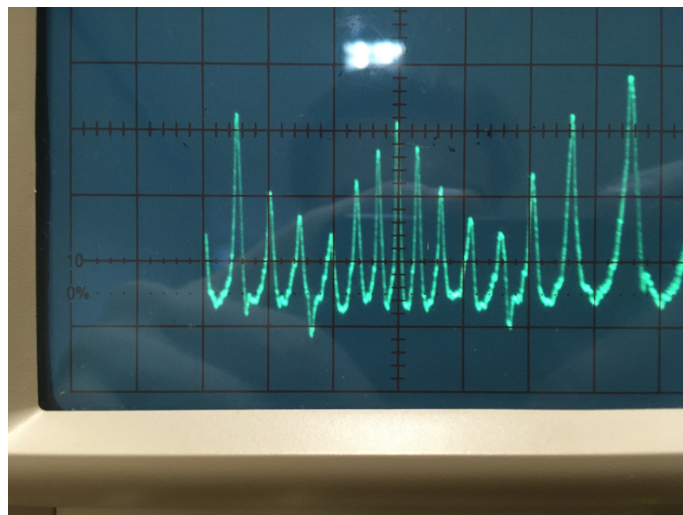


Рис. 5: Развертка спектра лазера

На рис. 5 виден удвоенный спектр гауссовского профиля излучения лазера. В одном профиле помещается $N = 7$ мод. Полуширина профиля равна:

$$\Delta\lambda(\text{Ne}) = \frac{N}{2} \frac{\lambda^2}{2L} \approx 10.78 \cdot 10^{-4} \text{ нм} \quad (6)$$

Предполагая, что ширина спектральной линии обусловлена эффектом Доплера, можем оценить температуру лазерной трубки.

$$\frac{\Delta\lambda(\text{Ne})}{\lambda} \approx \frac{v_x}{c}; \quad \frac{mv_x^2}{2} \approx \frac{kT}{2}$$

$$T \approx \frac{m}{k} \left(\frac{\Delta\lambda(\text{Ne})}{\lambda} \cdot c \right)^2 \quad (7)$$

Согласно полученным данным получаем температуру трубки $T \approx 634.8$ К.

2. Дисперсионная область интерферометра, рассчитанная по формуле (5): $\Delta\lambda_{\text{си}} \approx 2.22 \cdot 10^{-3}$ нм.
Полученное значение очень похоже на удвоенную полуширину профиля: $2\Delta\lambda(\text{Ne}) \approx 2.156 \cdot 10^{-3}$ нм.
3. Оценим разрешающую способность интерферометра, измеряя ширину моды на полувысоте.
Расстояние между пиками 2.0 клетки, что, вычисляя через полуширину профиля, соответствует

$$\Delta\lambda = 2\Delta\lambda(\text{Ne})/N = 3.09 \cdot 10^{-4} \text{ нм}$$

Ширина на полувысоте составляет 0.6 клетки, что соответствует

$$\delta\lambda = \Delta\lambda \cdot \frac{0.6}{2} = 0.92 \cdot 10^{-4} \text{ нм}$$

Разрешающая способность

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} \approx 6.8 \cdot 10^6$$

Разрешающая способность интерферометра Фабри-Перо

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

Отсюда можем оценить коэффициент отражения зеркал: $r \approx 0.87$

4 Обсуждение результатов

По итогу работу, мы выяснили, что газокINETическая температура в разряде составляет $634.8 \text{ К} \approx 362^\circ\text{C}$, что не соответствует действительности, исходя из ощущений руки вблизи неё.

Так же стоит заметить, что видимая ширина линии неона (с учетом приближения к полуширине доплеровского контура при расчетах) $2\Delta\lambda(\text{Ne}) = 2.16 \cdot 10^{-3}$ нм практически совпадает с дисперсионной областью сканирующего интерферометра $\Delta\lambda_{\text{си}} = 2.22 \cdot 10^{-3}$ нм, что может означать неполное исследование спектра лазера (полоса пропускания интерферометра обрезает спектр лазера).

Разрешающая способность интерферометра $R = 6.8 \cdot 10^6$ по порядку совпадает со среднестатистическими значениями (10^6 и более), но коэффициент отражения зеркал $r \approx 0.87$ маловат для оптического прибора, предназначенного для точных измерений, из чего можно сделать вывод, что и здесь присутствует значительная ошибка.

В целом, на качественном уровне, наблюдения соотносятся с теорией, но установка не приспособлена для количественных измерений.