

Лабораторная работа №4.5.3
Сканирующий интерферометр

Куляцкая Александра, Житников Андрей, Комкин Михаил, Б01-303

19 февраля 2025 г.

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 Теоретическая часть

1.1 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 полуволн (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.

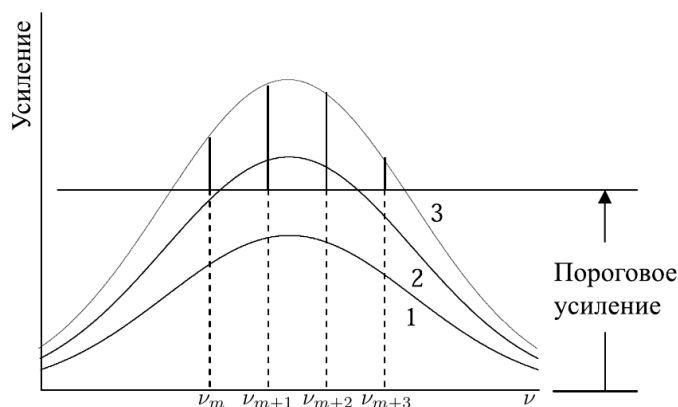


Рис. 1: Увеличение числа генерирующих мод при увеличении усиления

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.

1.2 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.

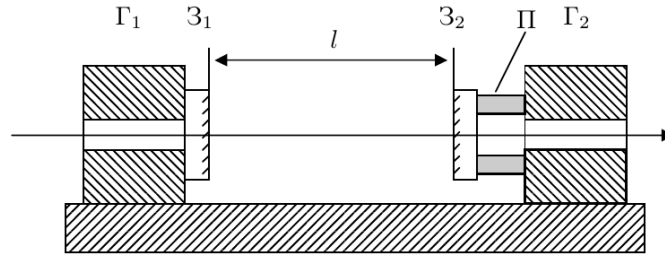


Рис. 2: Устройство сканирующего интерферометра

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

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

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)

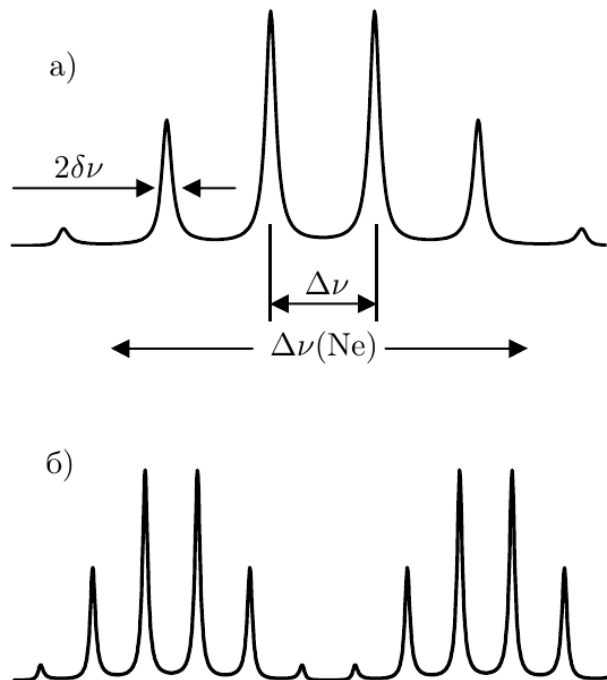


Рис. 3: Раздвоение развертки при большой амплитуде колебания зеркала

1.3 Экспериментальная установка

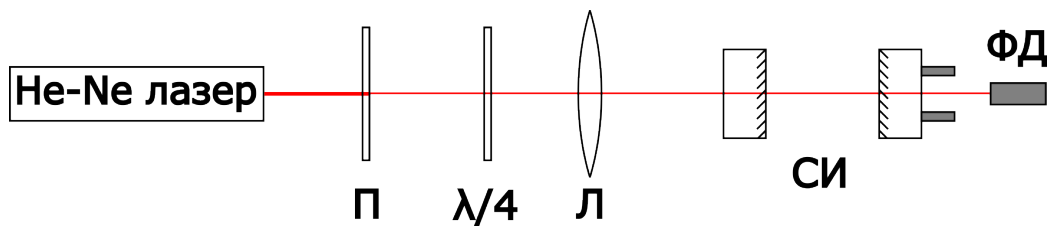


Рис. 4: Схема установки

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.

2 Ход работы

Параметры установки

База интерферометра: $l = 9$ см

База лазера: $L = 65$ см

Длина волны излучения: $\lambda = 6238 \text{ \AA}$

Центрируем установку, настраиваем поляризационную развязку.

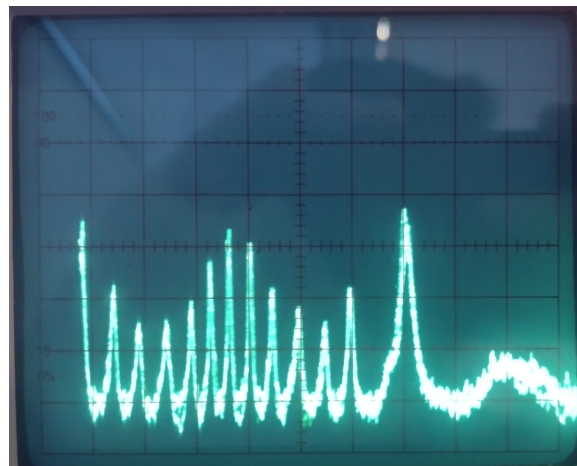
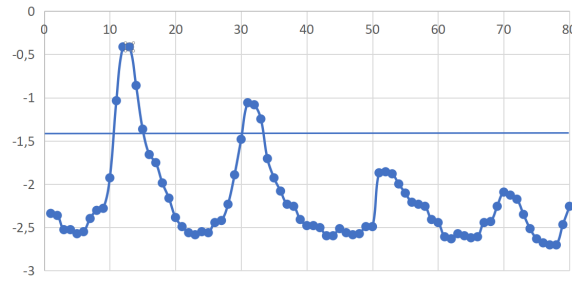


Рис. 5: Развертка спектра лазера

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

$$\Delta\lambda(\text{Ne}) = \frac{N}{2} \frac{\lambda^2}{2L} \approx 10.8 \cdot 10^{-3} \text{ \AA} \quad (6)$$

Оцифруем полученные значения



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

$$\frac{\Delta\lambda(\text{Ne})}{\lambda} \approx \frac{v_x}{c}; \quad \frac{mv_x^2}{2} \approx \frac{kT}{2} \quad (7)$$

В данной модели получаем температуру трубки $T \approx 637$ К.

Дисперсионная область интерферометра, рассчитанная по формуле (5): $\Delta\lambda_{\text{си}} \approx 22.2 \cdot 10^3 \text{ \AA}$.

Оценим разрешающую способность интерферометра, измеряя ширину моды на полувысоте.

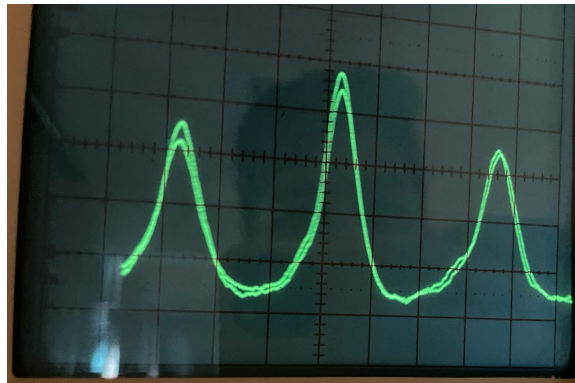


Рис. 6: Спектр трех мод лазера

Расстояние между пиками 19 единиц, что соответствует $\Delta\lambda = 3.08 \cdot 10^{-3} \text{ \AA}$. Ширина на полувысоте составляет 4 единицы, что соответствует $\delta\lambda = 0.65 \cdot 10^{-3} \text{ \AA}$. Разрешающая способность $R = \lambda/\delta\lambda \approx 9.6 \pm 2.1 \cdot 10^6$.

Разрешающая способность интерферометра Фабри-Перо

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

Отсюда можем оценить коэффициент отражения зеркал: $r \approx 0.98$

3 Выводы

В ходе работы получили температуру лазерной трубки примерно 370° C , что не соответствует действительности, судя по ощущениям руки, а так же исходя из той логики, что блок питания не имеет достаточной мощности для поддержания данной температуры.

Так же стоит заметить, что $2\Delta\lambda(\text{Ne})$ подозрительно близко похож на $\Delta\lambda_{\text{си}}$, что может означать неполное исследование спектра лазера (полоса пропускания интерферометра обрезает спектр лазера).

В целом, на качественном уровне наблюдения удачные, но установка не приспособлена для количественных измерений.