

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

СКАНИРУЮЩИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР

Выполнил:
Деревянченко Михаил
Группа:
Б03-106

Долгопрудный, 2023

1. Теоретические сведения

Для исследования межмодового состава излучения He-Не-лазера в работе используется сканирующий интерферометр, представляющий собой высокодобротный интерферометр Фабри–Перо с периодически изменяемой базой. Его устройство схематически показано на рис. 3.

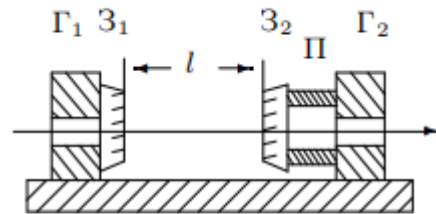


Рис. 3. Устройство сканирующего интерферометра

На жестком массивном основании расположены две юстировочные головки Г1 и Г2, на которых укреплены зеркала 31 и 32. Зеркало 31 установлено непосредственно на головке Г1, зеркало 32 связано с головкой Г2 через пьезокерамический элемент П. Юстировочные головки снабжены винтами (не показанными на рис. 3), которые позволяют в небольших пределах поворачивать зеркала относительно вертикальной и горизонтальной осей. С помощью головок Г1 и Г2 зеркала выставляются на параллельность.

Пьезокерамический элемент П позволяет периодически изменять базу интерферометра ($l \approx 10$ см) на величину порядка длины световой волны. Элемент имеет форму полого цилиндра. Его внутренняя и наружная поверхности металлизированы и образуют цилиндрический конденсатор. Необходимое изменение длины цилиндра возникает при напряжении в несколько сот вольт. Если вдоль оси интерферометра распространяется световое излучение с длиной волны λ , то при выполнении условия

$$2l = m \lambda$$

аналогичного условию для лазера, возникает резонанс. Внешнее излучение с длиной волны полностью проходит через интерферометр. Если на интерферометр падает излучение с различными длинами волн, то одновременно может возникнуть несколько резонансов. Собственные моды интерферометра отличаются по частоте на величину

$$\Delta f = \frac{c}{2l}$$

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

$$\Delta \lambda_{\text{си}} = \frac{\lambda}{m} = \frac{\lambda^2}{2l}$$

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

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$$

где $\delta\lambda$ — минимальная разность длин волн, разрешимая прибором вблизи длины волны λ . При определении $\delta\lambda$ обычно используют критерий разрешения Релея. Разрешающая способность интерферометра Фабри–Перо зависит от длины интерферометра l и коэффициента отражения зеркал r :

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

В лазерной технике принято выражать разрешение интерферометра в единицах частоты:

$$\delta f = \nu \frac{\delta\lambda}{\lambda} = \frac{c}{2l} \frac{1-r}{\pi}$$

Как видно из предыдущей формулы, величина $(1-r)/\pi$ показывает, во сколько раз разрешение интерферометра меньше его межмодового интервала. 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 $0,005 \delta f$, т. е. (при $l = 10$ см) приблизительно на 7,5 МГц. Напомним, что межмодовое расстояние лазера при $L = 1$ м равно $\Delta \nu = 150$ МГц. Таким образом, наш сканирующий интерферометр вполне подходит для исследования межмодового состава лазерного излучения.

Рисунок 4 дает представление о соотношении между спектром генерации ОКГ и спектральной характеристикой сканирующего интерферометра (т. е. его спектром пропускания). Изменение расстояния между зеркалами сканирующего интерферометра приводит к сдвигу нижней «гребенки» по оси частот. При этом интерферометр последовательно настраивается на разные моды лазера.

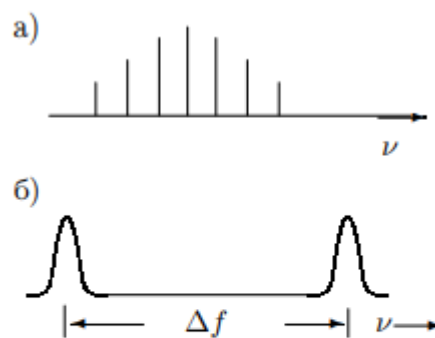


Рис. 4. Спектр генерации лазера (а) и спектр пропускания сканирующего интерферометра (б)

2. Экспериментальная установка

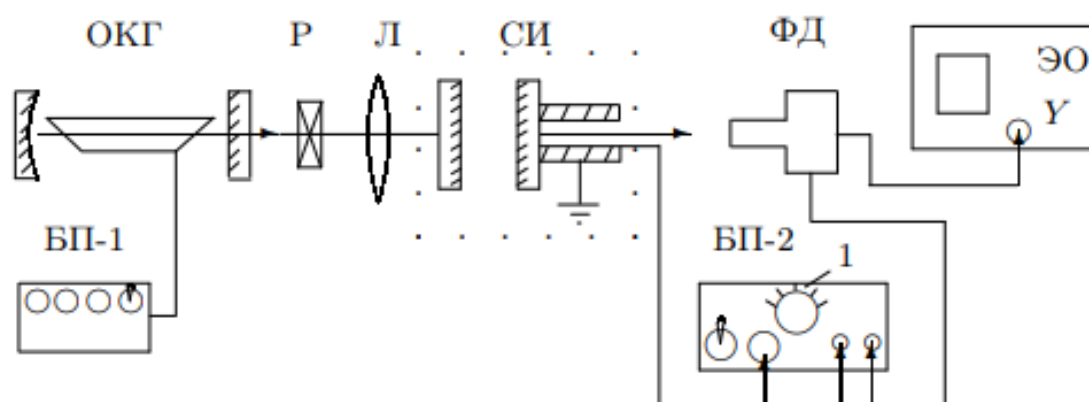


Рис. 6. Схема установки для исследования доплеровского контура излучения лазера

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 6. Излучение He-Ne лазера (ОКГ) проходит через поляризационную развязку Р и линзу Л и поступает на вход сканирующего интерферометра (СИ).

Поляризационная развязка предотвращает попадание в лазер излучения, отразившегося от элементов оптического тракта. Это излучение может существенно повлиять на работу лазера и даже привести к срыву генерации. Развязка состоит из поляроида и пластинки $\lambda/4$, главные направления которой установлены под углом 45° по отношению к разрешённому направлению поляроида. После развязки Р свет приобретает циркулярную поляризацию (например, по правому кругу). При отражении от передней поверхности линзы, от зеркала сканирующего интерферометра и т. п. свет распространяется в обратном направлении в виде левополяризованной волны. Такая волна, пройдя через пластинку $\lambda/4$, вновь приобретает линейную поляризацию. Однако направление колебаний в этой волне оказывается перпендикулярным направлению разрешённых колебаний поляроида, так что до лазера волна не доходит.

Линза L служит для формирования луча, поступающего на вход сканирующего интерферометра. Линза снабжена поперечными и продольными салазками для юстировки прибора на максимум сигнала.

С выхода сканирующего интерферометра излучение поступает на фотодиод ФД. Напряжение с фотодиода через усилитель подаётся на вертикальный вход электронного осциллографа ЭО.

ОКГ питается от блока питания БП-1, фотодиод и усилитель — от БП-2. Напряжение на пьезоэлемент сканирующего интерферометра подаётся с блока питания БП-2 и регулируется ручкой 1.

3. Проведение измерений и обработка результатов

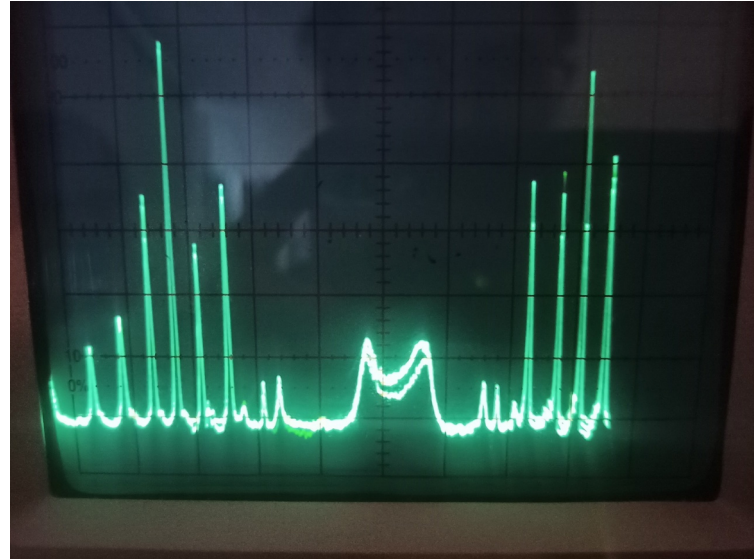
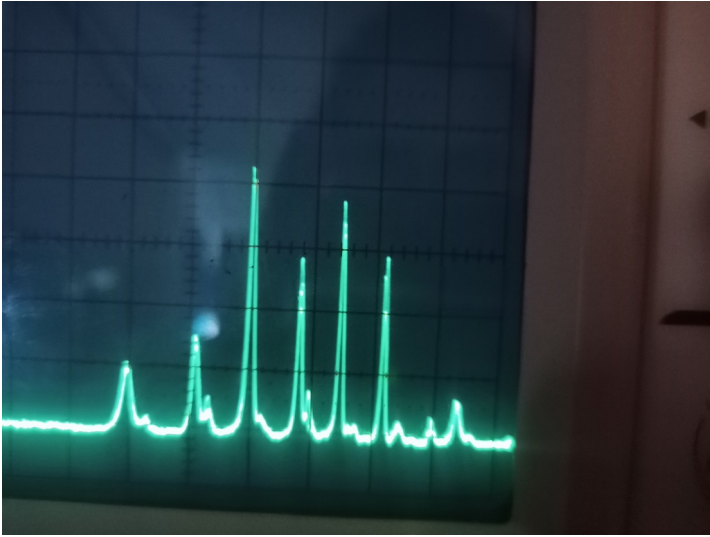
Параметры установки:

λ , нм	L , см	l , см
632.8	65	9

Для начала настроим оптическую систему:

Вытащив линзу и вращая винты 1-го и 2-го зеркал, совмещаем прямой и отраженные лучи, а для погашения отраженного луча вращаем пластинку $\lambda/4$ до тех пор, пока он не достигнет минимальной интенсивности.

Далее, поместив линзу обратно в систему, перемещаем фотодиод до тех пор, пока на экране не появится осциллограмма, а при изменении напряжения добьемся максимального сигнала.



Межмодовое расстояние резонатора: $\nu_{m+1} - \nu_m = \frac{c}{2L} = 230 \text{ МГц}$

Дисперсионная область: $\Delta \nu_{СИ} = \frac{c}{2l} = 1.6 \text{ ГГц}$ $\Delta \lambda_{СИ} = \frac{\lambda^2}{2l} = 0.002 \text{ нм}$

Наблюдая за картинками сверху, можно оценить ширину спектра линии неона по числу промежутков между модами(7) $\Delta \lambda = 7 * 230 \text{ МГц} = 1610 \text{ нм}$.

Учитывая эффект Доплера, которым обусловлена ширина спектральной линии, и что видимая ширина линии неона порядка полуширины доплеровского контура, оценим среднюю скорость атомов неона:

$$\frac{\Delta \lambda_D}{2\lambda} \approx \frac{v_x}{c} \Rightarrow v_x \approx 474 \text{ м/с}.$$

Из распределения Максвелла находим газокINETическую температуру T:

$$\frac{1}{2} = \exp \left(-\frac{m(Ne)v_x^2}{2kT} \right) \Rightarrow \ln 2 = \frac{m(Ne)v_x^2}{2kT} \Rightarrow T = 399 \text{ K}.$$

Наконец, оценим разрешающую способность: $R = 8 * 10^6$.

Коэффициент отражения зеркал: $r = 0.89$.

4. Вывод

В данной работе мы исследовали доплеровский контур спектральной линии излучения лазера(неона). Были рассчитаны основные параметры системы, в том числе и термодинамические характеристики.