

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.5.1

Гелий–неоновый лазер.

Автор:

Глеб Уваркин

615 группа

Преподаватель:

Клёнов Сергей Львович



3 марта 2018 г.

Цель работы:

Изучение основных принципов работы газового лазера и свойств лазерного излучения.

В работе используются:

Юстировочный лазер, гелий-неоновая трубка, компьютер со звуковой картой, модулятор (обтюратор), фотодиоды, зеркала, поляроид.

1 Теоретические сведения.

1.1 Коэффициент усиления.

Изменение интенсивности электромагнитной волны dI , прошедшей участок поглощающей (или усиливающей) среды толщиной dx , пропорционально интенсивности волны на этом участке $I(x)$: $dI = -\alpha dx$, где α – коэффициент поглощения на единицу длины среды. Если $\alpha = \text{const}$, то получаем

$$I(x) = I_0 \exp(-\alpha x)$$

Если $\alpha < 0$, то говорят о коэффициенте усиления среды $\gamma = -\alpha$, интенсивность при этом экспоненциально нарастает:

$$I(x) = I_0 \exp(\gamma x)$$

Коэффициент усиления волны с частотой ω в активной среде лазера равен

$$\gamma = B \frac{\hbar \omega}{v} \Delta N, \quad (1)$$

где $v = c/n$ – скорость волны, $\Delta N = N_1 - N_0$ – разность концентраций, B – коэффициент пропорциональности. Отсюда видно, что среда является усиливающей, если концентрация атомов на верхнем уровне больше, чем на нижнем: $N_1 > N_0$.

1.2 Генерация.

В реальности линия поглощения/излучения $\omega = (E_1 - E_0)/\hbar$ имеет конечную ширину $\Delta\omega_\gamma$ и коэффициент усиления (1) должен быть домножен на функцию, пропорциональную форме контура этой спектральной линии. Иными словами, коэффициент усиления $\gamma(\omega)$ есть функция частоты с острым максимумом вблизи резонансной частоты $\omega = (E_1 - E_0)/\hbar$, обладающая некоторой конечной шириной $\Delta\omega_\gamma$.

Полуширина линии приблизительно составляет

$$\Delta\omega_\gamma \simeq \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}.$$

Точный вывод на основе распределения Максвелла приводит к формуле для полуширины линии

$$\delta\omega = 2\omega \sqrt{\frac{2kT \ln 2}{mc^2}}.$$

1.3 Моды.

Моды – стационарные типы колебаний электромагнитного поля в резонаторе, различающиеся частотой и пространственным распределением амплитуды поля.

Если зеркала проводящие (металлические), то минимальные потери будут испытывать моды, у которых напряжённость поля на поверхности зеркал ($x = 0$, $x = L$) равна нулю, т.е. выполняется условие $k_q L = \pi q$, где $q = 1, 2, 3, \dots$, и $k_q = \omega_q / c$ – волновое число внутри резонатора.

Отсюда имеем

$$L = q \frac{\lambda}{2}$$

,

$$\omega_q = q \frac{\pi c}{L}$$

– набор резонансных частот (собственных частот резонатора).

Таким образом, *резонатор выделяет из спектра генерации активной среды лазера ряд узких спектральных линий*, центры которых соответствуют собственным частотам ω_q резонатора.

Моды колебаний в резонаторе также не являются строго монохроматическими и каждая содержит узкий спектр частот в некотором интервале $\omega_q \pm \Delta\Omega$.

2 Экспериментальная установка.

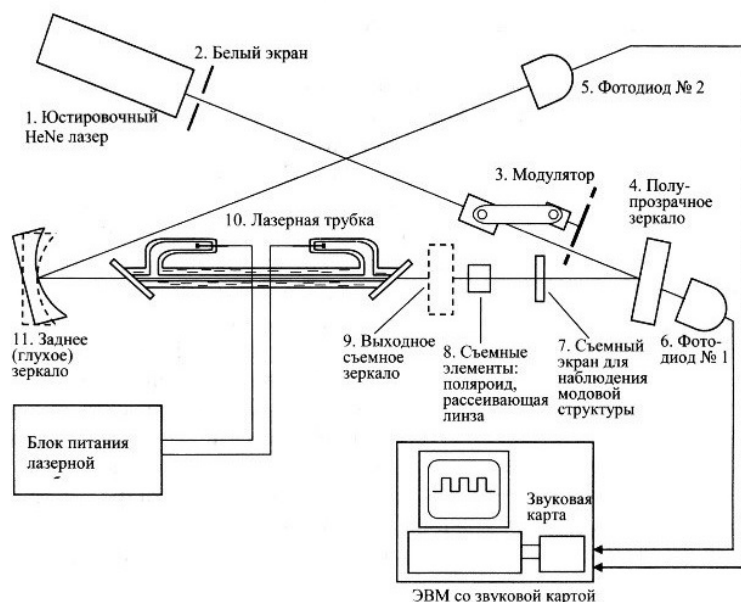


Рис. 1: Схема экспериментальной установки. Штриховыми линиями показано положение зеркал при получении лазерной генерации на исследуемой трубке.

Схема экспериментальной установки приведена на рис.1. На одном оптическом рельсе расположены: головка промышленного He-Ne-лазера ЛГ- 45 с исследуемой газоразрядной трубкой (11), заключённой в кожух (10), рейтер с полупрозрачным зеркалом (4), фотодиоды (5 и 6), а также 3 съёмных рейтера с выходным зеркалом (9), отрицательной линзой для наблюдения модовой структуры излучения исследуемого лазера или поляридом для исследования поляризации выходного излучения лазера (8) и с белым экраном (7).

Юстировочный лазер (1) с белым экранчиком (2) и модулятор (3) закреплены на втором оптическом рельсе. Модулятор может быть повёрнут в разные положения: при измерении коэффициента усиления он модулирует пучок, идущий от юстировочного лазера, при измерении поляризации излучения исследуемого лазера он модулирует выходящее из него излучение. В остальных случаях модулятор отводится в сторону, чтобы не перекрывать пучки.

Юстировочный лазер предназначен для настройки положения всех элементов установки и является источником зондирующего излучения для измерения усиления активной среды исследуемого лазера.

Зондирующий пучок сначала попадает на полупрозрачное зеркало (4). Часть излучения проходит сквозь зеркало и попадает на фотодиод №1 (6), с которого снимается сигнал, пропорциональный интенсивности зондирующего пучка. Отражённая часть направляется в исследуемую трубку.

3 Проведение измерений.

3.1 Измерение усиления трубки.

Поведём по несколько раз измерения с включённым и выключенным питанием трубки для трёх значений тока через трубку. Данные занесём в таблицу 1.

Таблица 1: Измерение коэффициента усиления трубки.

I , мА	22			30			40			0		
$U_{эфф1}$, мВ	102.1	101.7	101.6	102.5	102.9	103.4	103.4	103.4	104.1	90.6	91	91.9
$U_{эфф2}$, мВ	79.7	79.3	79.2	80.3	80.5	80.7	80.5	80.6	80.8	69.3	69.3	70.3

3.2 Поляризация излучения лазера.

Измерим зависимость интенсивности излучения исследуемого лазера от угла поворота поляроида. Данные занесём в таблицу 2.

Таблица 2: Поляризация излучения лазера

Угол поворота поляроида, °	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
$U_{эфф}$, мкВ	306	580	1043	1486	1672	1520	1118	591	333	313

Угол поворота поляроида, °	200	220	240	260	280	300	320	340	360
$U_{эфф}$, мкВ	617	1132	1412	1587	1394	1068	577	314	317

4 Обработка результатов.

По значениям эффективного напряжения в осциллограмме первого и второго каналов (с 1 и 2 фотодиодов соответственно) рассчитаем коэффициент усиления трубки. Обозначим за $U_{эфф1}^0$ и $U_{эфф2}^0$ показания программы при выключенной трубке, тогда

$$\gamma = \frac{U_{эфф2}}{U_{эфф1}} / \frac{U_{эфф2}^0}{U_{эфф1}^0}$$

Полученные результаты занесём в таблицу 3.

Таблица 3: Коэффициент усиления трубки.

I , мА	22			30			40		
γ	1.022	1.021	1.021	1.026	1.024	1.022	1.019	1.021	1.016
$\gamma_{ср}$	1.021 ± 0.001			1.024 ± 0.001			1.019 ± 0.002		

Проанализируем зависимость интенсивности излучения исследуемого лазера от угла поворота поляроида. Для этого построим график зависимости отношения интенсивности

излучения лазера к максимальной интенсивности от угла поворота поляроида. Данные возьмём из таблицы 3. Необходимые для построения измерения занесём в таблицу 4.

Таблица 4: Поляризация излучения.

Угол поворота поляроида, °	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
I/I_{max}	0.18	0.35	0.62	0.89	1.00	0.91	0.67	0.35	0.20	0.19

Угол поворота поляроида, °	200	220	240	260	280	300	320	340	360
I/I_{max}	0.37	0.68	0.84	0.95	0.83	0.64	0.35	0.19	0.19

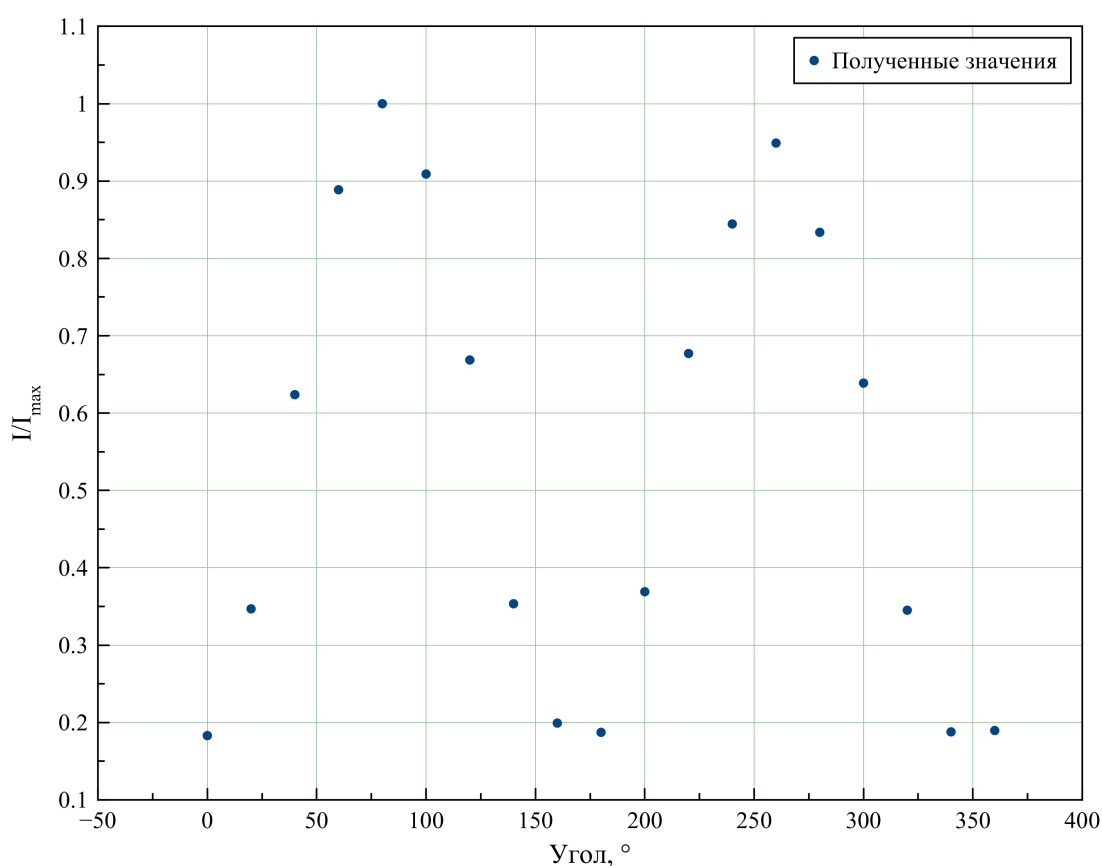


Рис. 2: Зависимость относительной интенсивности от угла поворота поляроида.

По полученной зависимости можно сказать, что излучение получилось линейно поляризованным.

5 Вывод.

- В ходе лабораторной работы были изучены принципы работы гелий-неонового лазера, свойства лазерного излучения и измерено усиление лазерной трубки.
- Измеренной усиления полностью совпадает с теоретическим (характеристикой самой лазерной трубки) и составляет 1 – 3%.

- Было проверено, что сгенерированное излучение линейно поляризовано.
- Было проведено наблюдение модовой структуры лазерного излучения, а именно, с помощью поворота выходного зеркала были получены одномодовый, трёхмодовый и многомодовый режимы.