

Лабораторная работа № 1

Контроль спектральных и поляризационных характеристик лазерного излучения

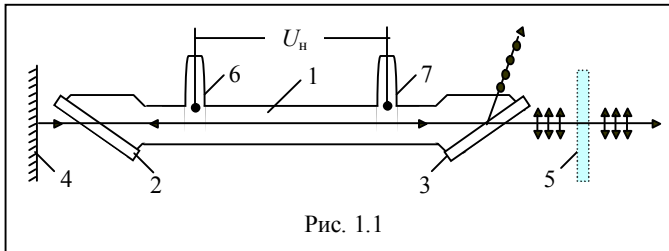
Цель работы – определение спектрального состава и степени поляризации излучения газового лазера непрерывного действия ЛГН-215.

При использовании лазеров в качестве источников света в интерферометрических, поляризационных и спектральных системах оптического контроля существенное влияние на точность измерений оказывают спектральные и поляризационные характеристики лазерного излучения.

Спектр излучения лазера состоит из волн, длины которых определяются процессами спонтанного и вынужденного (индуцированного) излучений атомов активной среды лазера. При этом доминирует вынужденная компонента излучения, являющаяся почти монохроматической.

Степень поляризации лазерного излучения обычно близка к единице. В газовых лазерах это достигается введением в их резонаторы специальных устройств (окошки Брюстера); в твердотельных лазерах преимущественная поляризация излучения обусловлена анизотропией коэффициента усиления. Заметим, что стабильность работы лазеров, генерирующих неполяризованный свет, ухудшается.

Среди лазеров непрерывного действия наиболее широко в системах оптического неразрушающего контроля (ОНК) применяются гелий-



неоновые лазеры, достоинством которых является большая долговечность (до 10 000 часов работы). Схематически устройство гелий-неонового лазера показано на рис. 1.1. Активным элементом является газоразрядная трубка 1, наполненная смесью гелия и неона. На концах трубки под углом Брюстера к ее оси установлены плоскопараллельные кварцевые пластинки 2 и 3. Они позволяют получить поляризованное индуцированное излучение с электрическим вектором, параллельным плоскости падения. Трубка 1 размещена между зеркалами 4 и 5, из которых второе является полупрозрач-

ным. Между катодом 6 и анодом 7 трубки прикладывается напряжение $U_n \sim 1$ кВ блока накачки.

Активная среда гелий-неонового лазера представляет собой газовую смесь, состоящую в основном из гелия (90%), но веществом, создающим индуцированную (когерентную) компоненту излучения, является именно неон. Присутствие атомов гелия необходимо для резкого повышения эффективности накачки.

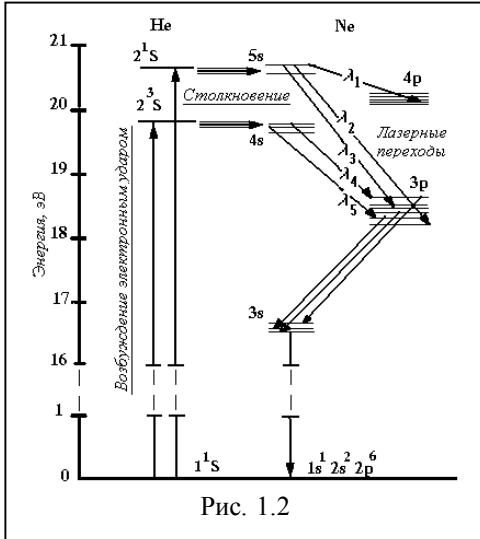


Рис. 1.2

Принцип действия лазера иллюстрирует рис. 1.2 [4], где указаны только те уровни атомов гелия (He) и неона (Ne), которые имеют принципиальное значение для работы лазера. Основному стационарному состоянию He соответствует терм 1^1S (оба электрона He находятся в состоянии $1s$ с противоположно направленными спинами), а десять электронов Ne в основном его состоянии образуют конфигурацию $1s^2 2s^2 2p^6$. При пропускании через газовую смесь электрического тока возникает низкотемпературная

плазма, содержащая ионы и свободные электроны. Легкие электроны ускоряются электрическим полем и приобретают значительные энергии. Столкновения электронов с нейтральными атомами переводят эти атомы в возбужденные состояния. Ближайшие по энергиям к основному состоянию атома He возбужденные состояния соответствуют термам 2^1S и 2^3S , для Ne – это уровни $3s$ и $3p$. Параллельно идут процессы релаксации атомов в основные состояния, сопровождающиеся электромагнитным излучением (спонтанное излучение).

Однако в многокомпонентной газовой плазме *возбуждение атомов может происходить также при столкновениях частиц разного сорта благодаря процессу резонансной передачи энергии*. Из рис 1.2 видно, что уровни 2^1S и 2^3S атома He близки к резонансу с $4s$ и $5s$ состояниями Ne. Уровни 2^1S и 2^3S метастабильны, поэтому при столкновениях атомов гелия с неоном указанный процесс приводит к эффективной накачке $4s$ и $5s$ уровней неона. Поскольку время релаксации s-состояний порядка 100 нс, а

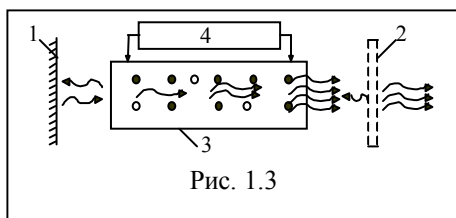
р-состояний – порядка 10 нс, то создается *значительная инверсия населенностей* уровней 4s и 5s относительно лежащих ниже (по энергиям) уровней 3p и 4p. Этому способствует также и то, что вероятность возбуждения электронным ударом атома неона из основного состояния на уровни 3p и 4p значительно меньше, чем соответствующие вероятности возбуждения на уровни 4s и 5s. Таким образом, создаются условия для непрерывной генерации вынужденного излучения на переходах между верхними уровнями 4s и 5s и нижними уровнями 4s и 5s. На рис. 1.2 показаны наиболее важные лазерные переходы, которые соответствуют длинам волн $\lambda_1 = 3,39$ мкм, $\lambda_2 = 0,543$ мкм (зеленая линия), $\lambda_3 = 0,6328$ мкм (красная линия), $\lambda_4 = 1,15$ мкм, $\lambda_5 = 0,652$ мкм. Выбор конкретного перехода, на котором генерирует лазер, осуществляется за счет конструктивных особенностей резонатора и его настройки.

Эффект вынужденного излучения приводит к увеличению интенсивности света, прошедшего через активную среду лазера, согласно соотношению

$$I = I_0 \cdot e^{\alpha x}, \quad (1)$$

где I_0 – начальная интенсивность вынужденного излучения, x – толщина активной среды, α – коэффициент усиления ($\alpha > 0$). Значение коэффициента усиления определяют протяженность x активной среды и отношение числа атомов неона, чьи электроны находятся на уровнях 4s и 5s, к числу атомов этого элемента с электронами на уровнях 3p и 4p.

Квантовый усилитель света становится квантовым генератором, если в его конструкции имеется устройство положительной обратной связи, которое возвращает часть усиленного сигнала ΔI на вход усилителя, где он снова усиливается и т.д. Когда усиление ΔI , достигаемое с помощью обратной связи, превзойдет потери в усилителе, излучение будет генерироваться активной средой независимо от наличия входного сигнала. Устройство, реализующее положительную обратную

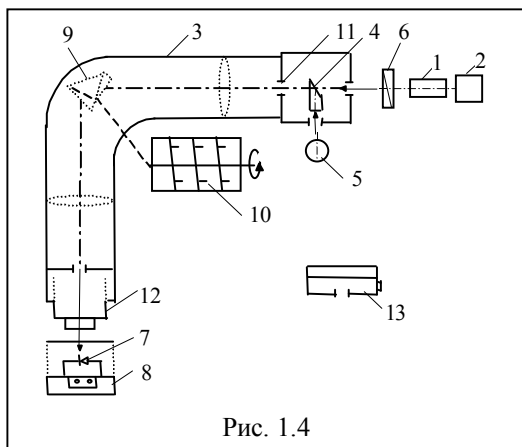


связь в лазере, представляет собой два зеркала: сплошное – 1 и полупрозрачное – 2, установленные за пределами активной среды 3 (рис. 1.3).

В лазере ЛГН-215 генерация осуществляется на длине волны 0,6328 мкм.

Методика выполнения работы

На рис. 1.4 приведена принципиальная схема установки для изучения



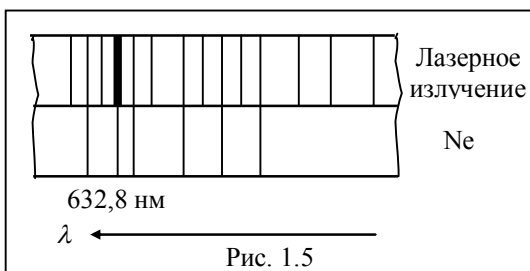
спектральных и поляризационных характеристик излучения гелий-неонового лазера.

Основные элементы установки: гелий-неоновый лазер (ЛГН-215) 1 с блоком питания 2; монохроматор (УМ-2) 3; насадка, содержащая призму сравнения 4; неоновая лампа 5; оптический поляризатор 6, установленный в обойме, которая может вращаться вокруг оси светового пучка; фото-

приемник – фотодиод 7, подключенный к цифровому вольтметру 8.

Монохроматор 3 содержит поворотную дисперсионную призму 9, кинематически связанную с отсчетным барабаном 10; входную щель 11, размер которой регулируется микрометрическим барабаном; окулярную обойму 12, снабженную барабаном наводки на резкость; насадочную обойму 13 с регулируемой выходной щелью. Обойма 12 (13) вкладывается в ствол монохроматора свободно, после чего зажимается при помощи накатанной гайки.

Призма сравнения 4 опускается (поднимается) при помощи вертикального штифта. Ее действие основано на явлении полного внутреннего отражения света, падающего под углом 45° к отражающей грани призмы.



Если призма сравнения находится в верхнем положении, излучение неоновой лампы проходит сквозь всю вертикальную щель 11, и через окуляр 12 наблюдают спектр чистого неона. Когда призма сравнения находится в нижнем поло-

жении, она перекрывает половину щели, на которую попадает свет, прошедший поляризатор 6, и, в результате, через окуляр 12 можно наблюдать

раздельно и одновременно два линейчатых спектра - чистого неона и активной среды лазера (рис. 1.5).

Указанная возможность связана с тем, что пропускание поляризатором спонтанных неполяризованных излучений активной среды не зависит от положения плоскости пропускания поляризатора, в то время как для индуцированного поляризованного излучения Ne с длиной волны 632,8 нм интенсивность света, прошедшего поляризатор, подчиняется закону Малюса

$$I = I_o \cos^2 \varphi, \quad (2)$$

где I_o - интенсивность света, падающего на поляризатор, φ - угол между плоскостью поляризации и плоскостью пропускания поляризатора. Степень поляризации лазерного излучения определяется соотношением

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (3)$$

где I_{\max} и I_{\min} - максимальная и минимальная интенсивности лазерного излучения.

Порядок выполнения работы

1 Измерение степени поляризации лазерного излучения

- 1.1. Собрать схему установки в соответствии с рис. 1.4.
- 1.2. Вставить в монохроматор обойму 13, открыть входную и выходную щели монохроматора с помощью микрометрических винтов на обоймах.
- 1.3. Включить лазер. Ввести лазерный луч во входную щель монохроматора.
- 1.4. Поднести к выходной щели монохроматора лист белой бумаги и добиться максимальной его освещенности красным светом, поворачивая барабан 10.
- 1.5. Включить милливольтметр. Подвести к выходной щели фотодиод 7 в кожухе. Добиться максимального показания милливольтметра 8.
- 1.6. Установить на оптическую скамью между лазером и монохроматором поляризатор 6.
- 1.7. Снять зависимость показаний милливольтметра U от угла поворота φ поляризатора с шагом $\Delta\varphi = 15^\circ$, выключить блок питания лазера и милливольтметр. Показания милливольтметра U пропорциональны интенсивности лазерного излучения I , если использован линейный участок люкс-вольтовой характеристики фотодиода.
- 1.8. Построить график экспериментальной зависимости

$$(U_{\max} - U_{\min})/U_{\max} = f(\varphi), \quad (4)$$

где U_{\max} и U_{\min} – максимальное и минимальное показания милливольтметра, соответственно. На том же рисунке построить график

$$(U_{\max} - U_{\min})/U_{\max} = \cos^2(\varphi - \pi/2), \quad (5)$$

который следует из закона Малюса (2). Сравнить зависимости (4) и (5), проанализировать полученный результат.

- 1.9. Определить степень поляризации лазерного излучения P по формуле, вытекающей из определения (3)

$$P = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}. \quad (6)$$

2 Определение спектра излучения активной среды лазера

2.1. *Попадание прямого лазерного луча в глаз вредно для зрения. Поэтому перед снятием спектральных характеристик лазерного излучения следует ослабить его интенсивность.* Поскольку основная мощность лазерного излучения сосредоточена в поляризованном свете (индуцированная компонента), этого можно добиться с помощью поляризатора: вращая обойму поляризатора вокруг горизонтальной оси, можно установить поляризатор на минимум пропускания излучения. Рекомендуется следующий порядок операций для минимизации интенсивности индуцированной компоненты излучения:

- 2.1.1 включить лазер;
 - 2.1.2 открыть полностью входную и выходную щели монохроматора;
 - 2.1.3 навести луч лазера на входную щель 11;
 - 2.1.4 вращая барабан 10 (призму 9), добиться максимального показания милливольтметра 8 (использовать результаты п.п. 1.4 и 1.5);
 - 2.1.5 вращением обоймы поляризатора 6 минимизировать ток в цепи фотодиода 7 (на лимбе поляризатора указана метка, соответствующая минимуму пропускания света). Зафиксировать положение обоймы по лимбу, на котором она укреплена.
- 2.2. Заменить щелевую обойму 13 на окулярную обойму 12.
- 2.3. Направить луч лазера в отверстие обоймы, содержащей призму сравнения 4. Опустить штифт с призмой. Луч лазера должен входить в переднюю грань призмы.
- 2.4. При помощи микрометрического барабанчика установить нулевую ширину входной щели. Включить неоновую лампу 5.
- 2.5. Постепенно увеличивать ширину входной щели (не больше 0,5 мм) до появления спектров неона и гелий-неоновой смеси наблюдая их в окуляр, вставленный в обойму 12. Четкое наблюдение спектров и указателя спектральной линии достигается вращением накатанной обоймы,

осуществляющей продольное перемещение окуляра, а также изменение ширины входной щели.

- 2.6. Записать показания отсчетного барабана 10, соответствующие линии индуцированного излучения (наиболее яркая красная линия в спектре лазерного излучения).
- 2.7. Записать показания отсчетного барабана 10, соответствующие линиям спектра лазерного излучения (верхнего на рис. 1.5), которые не имеют продолжения в спектре чистого неона (нижнем на рис. 1.5). Определить длины волн этих линий спектра с помощью градуировочной кривой, которая имеется на рабочем месте, или по интерполяционной формуле Гартмана

$$\lambda = \lambda_o - \frac{a}{b - b_o},$$

где b - деление барабана монохроматора, λ_o , a и b_o - постоянные, определяемые экспериментально (их значения приведены на рабочем месте).

- 2.8. Идентифицировать химические элементы, которым принадлежат линии спектра лазерного излучения (использовать таблицу 1.1 из приложения к данной работе и справочник [9]).

Приложение

Таблица 1.1. Длины волн спектральных линий гелия

№	Название линии	λ , мкм
1	первая красная	0,7065
2	вторая красная	0,6678
3	желтая	0,5876
4	зеленая	0,5016
5	зелено-голубая	0,4922
6	голубая	0,4713
7	синяя	0,4471
8	фиолетовая	0,4387