

Лабораторная работа 2

Измерение основных характеристик газового лазера

Цель работы – определение угловой расходимости пучка и мощности излучения газового лазера непрерывного действия ЛГН-215.

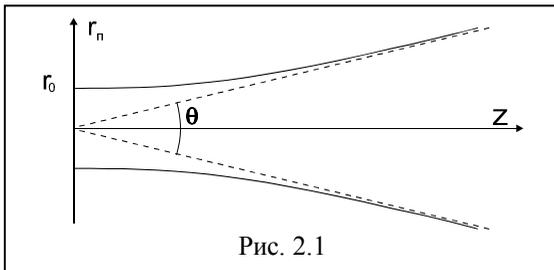
Основными характеристиками лазеров являются: режим работы (непрерывный или импульсный), активная среда (газ, жидкость, твердое тело), рабочая длина волны (для перестраиваемых лазеров – все возможные длины волн), мощность или энергия излучения (отдельно в многомодовом и в одномодовом режимах) и угловая расходимость луча лазера. Для импульсных лазеров сюда следует добавить минимальное значение продолжительности импульса и частоту повторения импульса. В паспорте лазера, как правило, указаны также потребляемая мощность, энергия накачки и рабочая температура активной среды. Для эффективного использования лазера необходимо уметь измерять значения его основных характеристик и управлять ими.

Для основной моды излучения лазера распределение интенсивности по сечению пучка имеет гауссов профиль и определяется соотношением

$$I(r) = I_0 \exp\left(-\frac{r^2}{r_{\text{п}}^2}\right), \quad (1)$$

где I_0 - интенсивность излучения на оси пучка; r - расстояние от оси пучка; $r_{\text{п}}$ - радиус пучка. Как видно из соотношения (1), *радиусом лазерного пучка* считается радиус его поперечного сечения на уровне 0,37 от максимальной интенсивности. Изменение радиуса пучка вдоль направления распространения излучения для основной моды излучения описывается соотношением

$$r_{\text{п}}^2 = r_{\text{п}0}^2 + \left(\frac{\theta}{2}z\right)^2, \quad (2)$$



где $r_{\text{п}0}$ – радиус излучающей апертуры; z - расстояние от излучающей апертуры. Радиус пучка на расстоянии z от плоскости излучателя можно определить, зная зависимость мощности лазерного излучения, проходящего через осе-

симметричную диафрагму, от радиуса R этой диафрагмы:

$$P = P_0 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{r_{\text{п}}^2}\right) \right\}, \quad (3)$$

где $P_0 = \pi r_{\text{п}}^2 I_0$ – полная выходная мощность лазера. Из формулы (3) следует, что при $R = r_{\text{п}}$ мощность излучения, прошедшего через диафрагму $P(r_{\text{п}}) = 0,63P_0$. Следовательно, радиус пучка равен радиусу диафрагмы, через которую проходит 63% полной мощности излучения лазера.

Измерение *угловой расходимости* лазерного пучка θ требует анализа распределения интенсивности излучения по осевому сечению лазерного пучка. Это сечение (рис. 1.1) представляет собой две симметричные гиперболы, асимптоты которых наклонены к оси пучка под углом $\theta/2$. Однако, уже на расстоянии в несколько метров от излучателя луч лазера с высокой степенью точности можно считать конусом с основанием в виде круга, диаметр которого равно диаметру лазерного пучка в данном сечении. Тогда плоский угол при вершине этого конуса определит искомую угловую расходимость пучка.

Методика выполнения работы

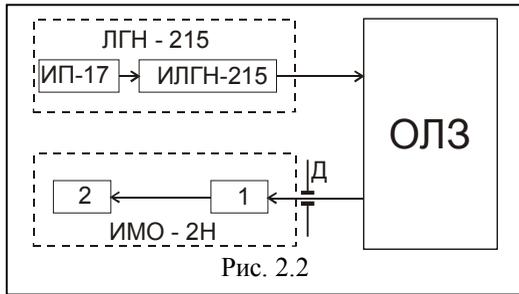


Рис. 2.2

Структурная схема лабораторной установки изображена на рис. 2.2. Установка содержит: гелий-неоновый лазер ЛГН, состоящий из источника питания ИП-17 и излучателя ИЛГН-215; оптическую линию задержки ОЛЗ; измеритель средней мощности и энергии лазерного излучения ИМО-2Н, состоящий из измерительной головки 1, калиброванной диафрагмы Д, укрепленной на корпусе измерительной головки перед ее входным отверстием и блока регистрации 2.

ЛГН-215 является газовым лазером непрерывного действия, активной средой в котором служит смесь гелия и неона. Его рабочая длина волны – 632,8 нм, максимальная мощность – 50 мВт. Для

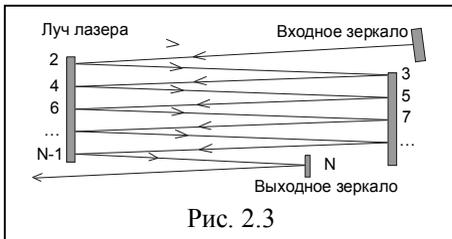


Рис. 2.3

накачки энергией атомов неона, происходящей при их столкновениях с возбужденными атомами гелия и электронами в плазме тлеющего газового разряда, нужна мощность порядка 100 Вт.

Калиброванная диафрагма D дает возможность плавно изменять радиус лазерного пучка, который подается на вход измерительной головки ИМО-2Н. Шкала лимба диафрагмы проградуирована в миллиметрах.

Для определения выходной мощности лазера P_0 нужно измерить мощность излучения на нескольких расстояниях от излучающей апертуры (порядка нескольких) метров. В лабораторной установке для дискретного изменения расстояния между излучателем лазера и измерителем ИМО-2Н используется многократное отражение лазерного пучка от плоскопараллельных зеркал оптической линии задержки (ОЛЗ), устройство которой показано на рис. 2.3. Расстояние между зеркалами ОЛЗ равно $L = 1,2$ м. Излучение выводится из ОЛЗ с помощью подвижного зеркала, которое располагается в универсальном держателе, позволяющем управлять выходящим лучом в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Если лазерный луч совершит N отражений от зеркал ОЛЗ, то расстояние от плоскости поперечного сечения луча, в котором измеряется мощность, до излучающей апертуры составит $z = NL$ и мощность излучения в плоскости диафрагмы будет равна

$$P = \alpha^N P_0 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{r_{\text{п}}^2}\right) \right\}, \quad (4)$$

где α – коэффициент отражения от одного зеркала. При этом, как следует из формулы (2), радиус пучка будет равен $r_{\text{п}}^2 = r_0^2 + \left(\frac{\theta}{2} Nl\right)^2$.

На рис. 2.4 показан график зависимости $\lg P$ от числа отражений пучка от зеркал N . При малых N ($N < N_{\text{max}}$) радиус лазерного пучка остается значительно меньшим радиуса диафрагмы ($r_{\text{п}} \ll R$) и указанная зависимость носит линейный характер. Таким образом, если измерить мощность излучения, прошедшего через диафрагму при нескольких значениях $N < N_{\text{max}}$, то *линейно* продолжив график $\lg P(N)$ до пересечения с осью ординат можно найти $\lg P_0$, а значит и выходную мощность излучения лазера P_0 .

Измерения радиуса пучка в нескольких поперечных сечениях, которые отстоят от излучающей апертуры на несколько метров, позволяют оп-

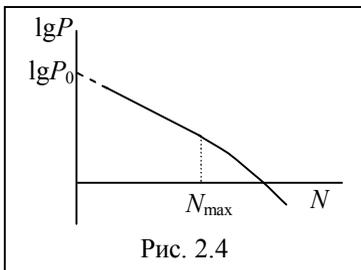


Рис. 2.4

ределить угловую расходимость лазерного излучения. Эти измерения легко осуществить путем подбора таких радиусов диафрагмы, при которых, мощность, измеряемая ИМО-2Н, удовлетворяет равенству $P(r_n) = 0,63P_0$ при каждом выбранном значении числа отражений луча N в ОЛЗ. Далее следует построить график зависимости $r_n(N)$ и провести к нему асимптоту. Удвоенный угол наклона этой асимптоты к оси абсцисс равен искомой угловой расходимости пучка θ .

Порядок выполнения работы

1. Используя технические описания, ознакомиться с устройством лазера ЛГН-215 и измерителя мощности ИМО-2Н.
2. Подготовить к работе ИМО-2Н
 - 2.1. Поставить тумблер "Сеть" в нижнее положение, переключатель рода работ – в положение "Арретир". Включить вилку прибора в сеть. Выключатель сети поставить в положение "Сеть". При этом должна загореться сигнальная лампочка.
 - 2.2. Прогреть прибор в течение 30 мин.
3. Подготовить к работе и включить лазер ЛГН-215
 - 3.1. Установить тумблер «Сеть» на передней панели блока питания в нижнее положение, переключатель «Ток» – в положение 3, регулятор «Ток» - в положение "Макс".
 - 3.2. Присоединить источник питания к сети с помощью сетевого кабеля. Установить тумблер «Сеть» в верхнее положение. При этом должна загореться сигнальная лампочка «Сеть» и через 0,5...2 мин - лампочка "Высокое"; при этом миллиамперметр, установленный на передней панели источника питания, покажет ток разряда. На выходе излучателя появиться видимый луч лазерного излучения.
4. Произвести калибровку измерителя мощности ИМО-2Н
 - 4.1. Перевести переключатель рода работ ИМО-2Н в положение "Измерение мощности", а переключатель пределов измерения мощности – в положение "0,01". Ручкой "Установка нуля" выставить нуль прибора на передней панели блока регистрации.
 - 4.2. Перевести переключатель рода работ в положение "Калибровка". Через 5 мин на приборе блока регистрации должно установиться отклонение стрелки 100 ± 5 делений. В противном случае добиться этого, вращая ручку регулировки "Усиление".
5. Определение мощности излучения лазера
 - 5.1. Полностью открыть диафрагму на входе измерительной головки

ИМО-2Н. Установить выходное зеркало ОЛЗ так, чтобы луч лазера трижды отразился от зеркал ОЛЗ ($N = 3$). С помощью регулировочных винтов универсального держателя направить луч лазера в входное отверстие измерительной головки так, чтобы угол между осями лазерного пучка и измерительной головки не превышал 20° . Выбрать диапазон измерения мощности так, чтобы прибор не зашкаливал, измерить и записать мощность излучения на выходе ОЛЗ.

5.2. Повторить измерения мощности для значений $N = 5, 7, 9, 11, 13$.

5.3. Построить график зависимости $\lg P$ от N и по нему определить выходную мощность излучения лазера P_0 и максимально допустимое число отражений от зеркал N_{\max} , до которого этот график имеет линейный характер.

6. Определение угловой расходимости пучка лазерного излучения

6.1. Вновь установить выходное зеркало ОЛЗ таким образом, чтобы число отражений N было равно 3. Установить минимальный радиус диафрагмы. После установления показаний прибора постепенно открывать диафрагму до тех пор, пока мощность излучения, которое прошло через ее, не будет составлять 63% от мощности излучения на выходе ОЛЗ. По показанием лимба диафрагмы определить радиус лазерного пучка.

6.2. Повторить измерения радиуса пучка при тех N , которые меньше N_{\max} .

6.3. Построить график зависимости радиуса лазерного пучка от N . На графике провести асимптоту и определить угловую расходимость лазерного излучения как удвоенный угол наклона этой асимптоты к оси абсцисс.

7. Выключить лазер ЛГН-215 и прибор ИМО-2Н

7.1. Установить тумблер «Сеть» на передней панели ИП-17 в нижнее положение. Отключить кабель источника питания от сети.

7.2. Установить переключатели режимов работы и пределов измерения на передней панели ИМО-2Н соответственно в положения "Арретир" и "10 Дж", выключатель сети блока регистрации установить в нижнее положение, отсоединить прибор от сети.

8. Сопоставить результаты измерения мощности лазерного излучения и угловой расходимости пучка с паспортными данными лазера.