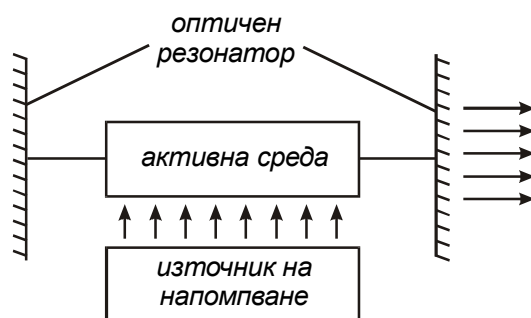


14 Определяне на широчината на тесни процепи и на диаметъра на тънки нишки чрез дифракция на светлината

Теоретична обосновка

Лазерът или оптичният квантов генератор (ОКГ), е устройство излъчващо електромагнитно лъчение в оптичния диапазон. Думата *LASER* е съкращение от първите букви на английския израз "*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*", което в превод на български език гласи "усилване на светлината чрез стимулирана емисия". Принципът на стимулираното излъчване е приложен най-напред в радиовълновия диапазон на електромагнитния спектър. Квантовия генератор за тази част на спектъра се нарича *MASER*. През 1954 г. руските физици Басов и Прохоров и американските учени Таунс, Гордън и Цайгер създават първия мазер. Първият оптически квантов генератор "лазер" е създаден на базата на активна среда от рубинов кристал през 1960 г. от Майман. За своите научни разработки през 1964 г. на Басов, Прохоров и Таунс е присъдена Нобелова награда по физика.

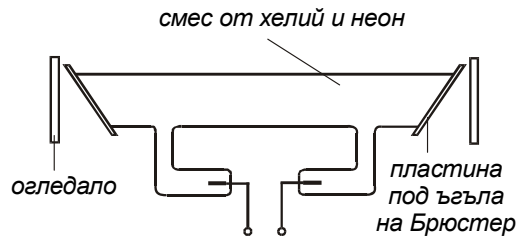
Принципната схема на лазера е показана на фиг. 35.1 и се състои от три основни елемента: активна среда, източник на напомпване и оптичен резонатор.



Фиг. 35.1.

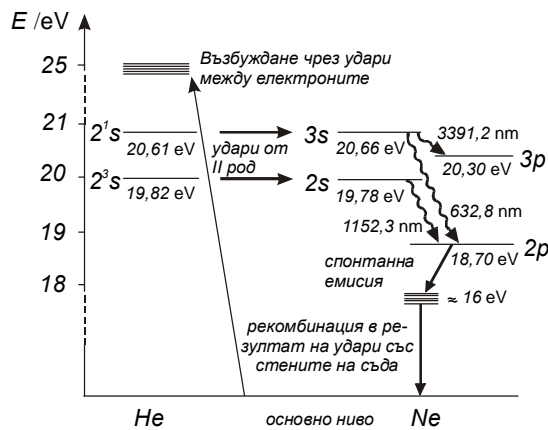
В настоящето лабораторно упражнение се използва *He – Ne* лазер. Хелиево-неоновият лазер е типичен представител на атомните газови лазери. На фиг. 35.2 е показана една негова принципна схема. Основните части са активна среда – смес от хелий и неон с налягане от 1 кПа. Концентрацията на хелия е неколкократно по-висока от тази на неона. Сместа се намира в стъклена газоразрядна тръба с размери: дължина от 10 см до 3,0 м,

диаметър от 1 до 10 mm . В двата края на тръбата в някои конструкции е възможно да се поставят пластини от оптично стъкло, монтирани под ъгъла на Брюстер спрямо оста на тръбата. Това дава възможност да се намалят загубите при отражение на лъчението от граничните повърхности до нула. Лазерът генерира електромагнитна вълна която е линейно поляризирана.



Фиг. 35.2.

От теорията на лазерите е известно, че най-важното условие за възникване на лазерна генерация е създаването на **инверсна населеност**. Създаването на инверсна населеност в $He - Ne$ лазер се осъществява в резултат на постояннотоков тлеещ разряд в тръбата. Под действие на протичащия ток атомите на двата газа се възбуждат в резултат на нееластичните удари с електроните от газоразрядната плазма. На фиг. 35.3 е представена енергетичната схема на He и Ne . Нивата 2^1s_0 и 2^3s_1 са



Фиг. 35.3.

метастабилни, (времето на живот на тези нива е с $10^4 - 10^5$ пъти по-голямо от времето на живот на други нива) затова на тях могат да се заселят в резултат на преходи много по-голям брой атоми отколкото на другите. Неона в енергетичния си спектър има две състояния $2s$ и $3s$ всяко с по четири под нива. Тези състояния са близко разположени до метастабилните хелиеви нива и между тях може да се извърши резонансен обмен на енергия. В резултат на нееластични удари атомите на He преминават в основното си състояние, а атомите на Ne във възбудените $2s$ и $3s$. Тъй като времето на живот на тези нива е с около 10 пъти по-голямо от това на нивата $2p$ и $3p$, това се оказва достатъчно за създаване на инверсна населеност между няколко двойки нива от $3s$, $2s$, $3p$, $2p$. Най-ярко са наблюдава генерация между:

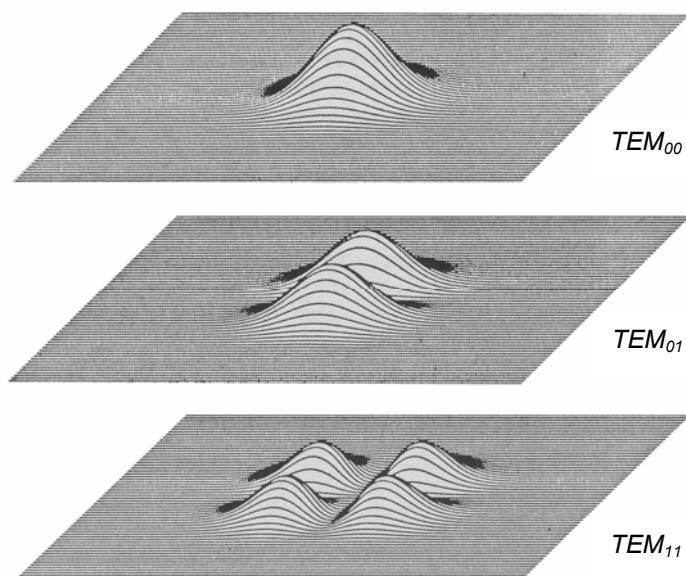
$$3s_2 \Rightarrow 2p_4, \lambda = 632,8 \text{ nm}$$

$$3s_2 \Rightarrow 3p_4, \lambda = 3391,4 \text{ nm}$$

$$2s_2 \Rightarrow 2p_4, \lambda = 1152,3 \text{ nm}$$

Важна съставна част на всеки лазер е *оптичният резонатор*. Той представлява система от оптични елементи, чийто две отразяващи повърхности връщат лъчението в активната среда. Едното от огледалата се подбира с макс. коефициент на отражение **99,9%**, а другото с прозрачност само няколко процента. Основното предназначение на лазера е чрез връщане обратно в активната среда на част от разпространяващото се между огледалата лъчение да се осъществи положителна обратна връзка. По такъв начин се създава необходимата плътност на електромагнитното лъчение в активната среда, така че броят на индуцираните преходи да превишава многократно този на спонтанните преходи. За да възникне генерация е необходимо коефициента на усилване да е по-голям от общите загуби. Усилването е най-голямо особено за дължина на вълната $\lambda = 632,8 \text{ nm}$. Индуцираното лазерно лъчение при многократното си преминаване през активната среда се усилва и формира на изхода мощно електромагнитно лъчение, което е *кохерентно* (запазва се фазата при неговото разпространение). В оптичният резонатор се определя още едно важно свойство на лазерното лъчение *модовата му структура*. (Модове са стационарни разпределения на електромагнитното поле в резултат на многократните преминавания на електромагнитната вълна между двойката огледала.) Те се означават с TEM_{qmn} (електричният \vec{E} и магнитният \vec{M} вектори са перпендикулярни на надлъжната ос – T (transversal) на резонатора). Индексите тип определят напречната модова структура, те са цели числа които определят броя на минимумите върху огледалата на резонатора (виж фиг. 35.4 при правоъгълни огледала). Индекса q

характеризира надлъжните модове (броя на полуълните, които се нанасят по дължина на резонатора).



Фиг. 35.4.

Размерите на тесни процепи и тънки нишки могат да се определят по безконтактен начин използвайки дифракцията която се получава при облъчване с $He - Ne$ лазер. Дифракцията в най-общ смисъл е отклонение на светлинните вълни от праволинейното им разпространение при преминаване край прегради. За обясняване на дифракцията Френел използва принципа на Хюгенс според който всяка точка, до която достига вълната, става център на вторични вълни. Тези вълни при понататъшното си разпространение интерферират помежду си. Дифракцията на плоски вълни или на успоредни лъчи, каквито се явяват и снопа лазерни лъчи излъчвани от $He - Ne$ лазер се нарича – Фраунhoferова дифракция.

Интерференчната картина която се получава зад преградата е в зависимост от размерите и формата на препятствието до което достигат лазерните лъчи. Определянето на разпределението на интензитета на светлината I_{α} в направление, сключващо ъгъл α с посоката на разпространение на лазерните лъчи е сложна задача Тук ще дадем само крайния извод:

$$I_{\alpha} \sim b^2 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \alpha\right)}{\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \alpha\right)^2},$$

където b е широчината на процепа, α – ъгълът на пречупване, а λ – дължината на светлинната вълната.

Ако потърсим при какви ъгли α_k интензитетът има минимум, то от горното условие получаваме

$$\sin^2\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \alpha_k\right) = 0, \quad (35.1)$$

или

$$\sin \alpha_k = \frac{k \lambda}{b},$$

където $k = 1, 2, 3, \dots$

От условието за максимум на интензитета съответно получаваме

$$\sin^2\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \alpha_k\right) = 1,$$

т.е.

$$\frac{\pi b}{\lambda} \sin \alpha_k = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \dots$$

или

$$\sin \alpha_k = \frac{2k+1}{2} \frac{\lambda}{b} \quad (35.2)$$

където $k = 1, 2, 3, \dots$

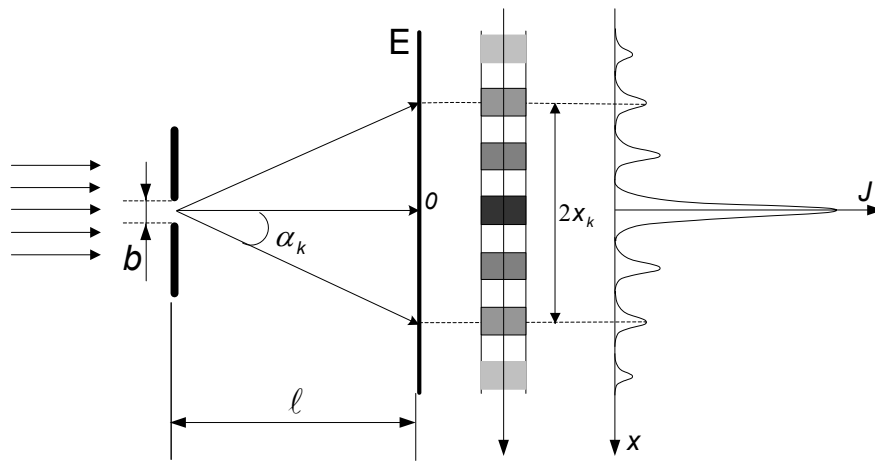
Ако на мястото на процепа поставим нишка с диаметър, равен на широчината на процепа, получаваме същото разпределение на интензитета (същата интерференционна картина).

От горните уравнения се вижда, че ако познаваме дължината на вълната на лазерното лъчение и $\sin \alpha_k$, ще може да се определи b .

Опитна постановка

Опитната постановка включва лазер, процеп или нишка и екран E .

Интерференционната картина, която се получава от процепа, попада върху екрана, който е покрит с милиметрова мрежа с цел по-точно да се измерват разстоянията от центъра на интерференционната картина до съответните минимума.



Фиг. 35.5.

Ако с ℓ е означено разстоянието от средния максимум до процепа, а $2x_k$ – разстоянието на двата еквиливантни минимума от k – ти порядък (фиг. 35.5), то за достатъчно големи ℓ е в сила

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha \approx \frac{x}{\ell} \quad \text{откъдето,} \quad \frac{x_k}{\ell} = \frac{k\lambda}{b} \quad \text{или} \\ b = \frac{k\lambda \ell}{x_k}. \end{aligned} \quad (35.3)$$

Задачи и указания за изпълнението им

Задача 1. Да се осъществи опитната постановка, показана на фиг. 35.5. Премествайки екрана от 100 mm до 2000 mm да се проследи как се изменя интерференционната картина (обърнете внимание на изменението на централната ивица).

Задача 2. При разстояние по-голямо от 1000 mm да се измери $2x_k$ за $k = 3, 4, 5, \dots$ и да се пресметне b по формула (35.3).