

Работа 5.9

Изучение газового лазера

Оборудование: газовый лазер, набор по дифракции и интерференции, измерительная линейка, экран.

Введение

Явление взаимодействия света с веществом при нормальных термодинамических условиях сопровождается ослаблением потока излучения. Однако возможны процессы, в которых поток излучения при прохождении через вещество усиливается.

Обычно в состоянии равновесия системы количество частиц N_n на возбужденном уровне n меньше, чем N_m на более низком уровне m , т. е. $\frac{N_n}{N_m} < 1$.

Коэффициент поглощения α выражается следующим образом:

$$\alpha = A \left(1 - \frac{N_n}{N_m} \right), \quad (1)$$

где A — постоянная величина.

При равновесных условиях из уравнения (1) вытекает, что $\alpha > 0$. Тогда в соответствии с законом Бугера — Ламберта

$$I = I_0 e^{-\alpha d}$$

интенсивность I света, прошедшего через слой вещества толщиной d , уменьшается. Поглощение света при таких условиях называют *положительным*.

Но при определенных условиях может оказаться, что $N_n > N_m$, т. е. $\frac{N_n}{N_m} > 1$. В этом случае $\alpha < 0$, интенсивность света будет увеличиваться. Такое поглощение называется *отрицательным*.



Рис. 5.22

Атом с возбужденного уровня n может самопроизвольно переходить на нижний уровень. При этом имеет место *спонтанное излучение* (рис. 5.22). Под действием внешних сил (например, кванта света) переход атома с n на m может быть *вынужденным*. Излучение в этом случае называется *вынужденным* или *индуцированным*. Вынужденное излучение по своим

характеристикам тождественно с тем излучением, которое его вызывает. Новый фотон имеет такую же энергию и распространяется в том же направлении, что и

первоначальный. Это приводит к увеличению интенсивности света, проходящего через вещество. Необходимым условием увеличения интенсивности света при прохождении через вещество является образование среды с перенасыщенным верхним уровнем.

Приборы, принцип действия которых основан на увеличении интенсивности излучения, называются *квантовыми усилителями* или *квантовыми генераторами*. Первоначально теория отрицательного поглощения и индуцированного излучения, была разработана для радиоволн. Квантовые генераторы в этом диапазоне волн называются *мазерами*. Позже подобная теория была разработана для видимых и ультрафиолетовых лучей. В 1960 г. были построены первые квантовые генераторы в видимой и ближней инфракрасной областях спектра (*лазеры*).

Усиление интенсивности света, основанное на индуцированных переходах, можно осуществлять и путем многократного прохождения света через один и тот же слой рабочего вещества. Для этого вещество помещают между двумя параллельными зеркалами. Фотон, возникающий в среде спонтанно, проходит через вещество и вызывает целую лавину фотонов (рис. 5.23, а).



Рис. 5.23

Уникальные свойства лазерного излучения — монохроматичность, высокая когерентность, острая направленность светового излучения дают широкие возможности для их практического применения. Создание лазеров дало мощный толчок в развитии оптики, электроники, радиофизики, кристаллографии и другим областям науки и техники.

Наиболее высокую монохроматичность, точную направленность и высокую когерентность излучения имеют газовые лазеры. По этим параметрам они превышают твердотельные и полупроводниковые. Расходимость луча газового лазера составляет доли угловой минуты.

Основным элементом газового лазера является разрядная трубка 1 (рис. 5.23, б). В трубке находится смесь газов (например, гелий и неон). При высоком напряжении между электродами 2 и 3 возникает электрический разряд. Атомы газовой смеси возбуждаются.

Энергетические уровни атомов (рис. 5.24) имеют подуровни, размещенные близко один к одному. Все уровни и подуровни в зависимости от условий возбуждения заселяются определенным количеством частиц. Каждый возбужденный атом газа имеет определенное *время жизни* τ около ($10^{-7} — 10^{-5}$) с.

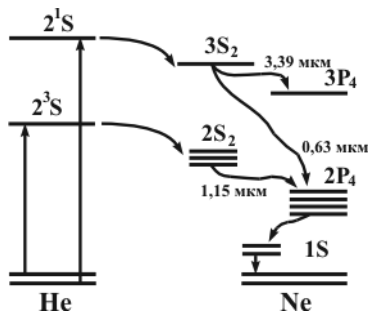


Рис. 5.24

При переходе на нижний уровень атом излучает. В некоторых атомах имеются так называемые *метастабильные уровни* ($\tau \approx 10^{-3}$ с), на которых может находиться большое количество частиц, что создает условия для генерации света.

Гелий-неоновые лазеры излучают на волнах 0,63 мкм и 3,39 мкм. Эти линии генерации имеют общий верхний уровень неона $3S_2$ (рис. 5.24). Для повышения эффективности генерации разрядную трубку помещают в зеркальный резонатор 4 (рис. 5.23, б). Механизм работы молекулярных лазеров более сложный. В молекулярных лазерах используются переходы между так называемыми *колебательно-вращательными уровнями* основного и возбужденного электронных состояний.

Порядок выполнения работы

Задание 1. Измерение длины волны излучения лазера при помощи дифракционной решетки.

1. Включите лазер и на пути луча поместите дифракционную решетку.
2. Получите на экране резкую дифракционную картину. При этом плоскость экрана должна быть перпендикулярна лучу. Определите расстояние L от дифракционной решетки до экрана.
3. При помощи шкалы на экране (или линейки) определите расстояние ΔX_m между дифракционными максимумами, соответственно: ± 1 -го, ± 2 -го, ± 3 -го, ± 4 -го и т. д. порядков спектров, (рис. 5.25).

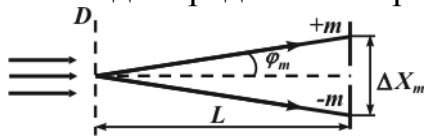


Рис. 5.25

4. По формуле $\text{tg} \varphi_m = \frac{\Delta X_m}{2L}$ определите угол дифракции φ_m для соответствующего порядка m .
5. Пользуясь формулой $d \sin \varphi_m = m\lambda$ где d — период дифракционной решетки, найдите для каждого значения φ_m длину волны λ_m .

6. Определите среднее значение длины волны $\lambda_{\text{ср}}$, найдите абсолютную и относительную погрешности измерений. Результаты запишите в таблицу:

№ п/п	m	L , м	ΔX_m , см	d , мм	φ_m , °	λ_m , нм	$\lambda_{\text{ср}}$, нм	$\Delta \lambda$, нм	δ , %
-------	-----	---------	-------------------	----------	-----------------	------------------	----------------------------	-----------------------	--------------

Задание 2. Изучение дифракции лазерного излучения на мелких круглых частицах.

1. Разместите на пути лазерного луча приспособление из двух стеклянных пластинок, между которыми находятся частицы ликоподия.

2. Получите на экране дифракционную картину в виде концентрических колец. Угловые радиусы α темных колец подчиняются условиям:

$$\sin \alpha_1 = 0,61 \frac{\lambda}{r}, \sin \alpha_3 = 1,11 \frac{\lambda}{r}, \sin \alpha_5 = 1,62 \frac{\lambda}{r}, \quad (1)$$

где r — радиус частицы, λ — длина волны света. Угловые радиусы α светлых колец подчиняются условиям:

$$\sin \alpha_2 = 0,82 \frac{\lambda}{r}, \sin \alpha_4 = 1,34 \frac{\lambda}{r}. \quad (2)$$

Дифракционные кольца пронумерованы, начиная с первого темного кольца, которое окружает центральный светлый круг.

3. Пользуясь соотношением $\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{D_n}{2L}$, определите угловые радиусы α_n , где D_n — линейный диаметр соответствующего дифракционного кольца на экране, L — расстояние от стеклянной пластинки с частицами до экрана.

4. Пользуясь формулами (1) и (2), значениями α_n и $\lambda_{\text{ср}}$, определите средний радиус частицы \bar{r} . Результаты запишите в таблицу:

№ п/п	Цвет кольца	D , мм	L , см	α °	r_i , мм	\bar{r} , мм
-------	-------------	----------	----------	------------	------------	----------------

Задание 3. Наблюдение дифракции излучения на некоторых препятствиях.

1. Разместите на пути лазерного луча узкую щель, ширину которой можно менять.

2. На экране наблюдайте дифракционную картину при разной ширине щели. Обратите внимание на формирование минимума в центре картины при разных значениях ширины щели. Объясните результаты опыта.

3. Наблюдайте дифракцию на узком длинном экране. Обратите внимание на наличие светлой полосы в центре тени. Объясните полученный результат.

4. Наблюдайте дифракцию на краю плоского предмета (например, лезвия бритвы).

5. Наблюдайте дифракцию на модели двухмерной пространственной решетки.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как заселены энергетические уровни атома при равновесных условиях?

2. Запишите зависимость коэффициента поглощения α от заселенности уровней N ?
3. Как заселены энергетические уровни атома при неравновесных условиях?
4. Какое явление называют отрицательным поглощением? Кто впервые открыл это явление?
5. Какое излучение называется вынужденным?
6. Какие свойства характерны для вынужденного излучения?
7. Какие приборы называют квантовыми генераторами?
8. Кем и когда были сконструированы квантовые усилители радиоволн?
9. Когда был создан первый газовый лазер?
10. Какая роль зеркального резонатора в лазере?
11. Объясните принцип действия лазеров разных типов.
12. Какие преимущества у молекулярных лазеров?
13. Назовите основные направления применения лазеров.
14. Расскажите порядок включения газового лазера.
15. Каким образом можно определить длину волны лазерного излучения?