

# Вопрос 4

Александр Нехаев

## Вопрос

Расскажите про синхронизацию мод в He-Ne лазере и минимальную длительность импульса, которую можно в нем получить.

В He-Ne лазере используется полусферическое зеркало в резонаторе, что обеспечивает легкодостижимую генерацию на основной моде. Однако из-за того, что размер пятна на плоском зеркале значительно меньше, чем на вогнутом, объем плазменного разряда используется не полностью. КПД He-Ne лазера очень низок: на элементарный процесс накачки уходит около 20 эВ при энергии лазерного фотона около 2 эВ. Узкая линия усиления позволяет добиться совпадения частоты моды с центром контура усиления при получении генерации в одномодовом режиме.

Минимальная длительность импульса:

$$\Delta t = \frac{0.441}{\Delta \nu} = \frac{0.441}{1.5 \text{ GHz}} \approx 300 \text{ ps}$$

## Задача 1

Определить естественную, доплеровскую и столкновительную ширину линии для перехода неона  $3S_2 \rightarrow 2P_4$  ( $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ ) в He-Ne разряде при давлениях  $P_{\text{He}} = 1 \text{ тор}$ ,  $P_{\text{Ne}} = 0.2 \text{ тор}$  и температуре смеси  $T = 400 \text{ }^\circ\text{K}$ . Остальные параметры: времена жизни  $\tau(3S_2) = 60 \text{ нс}$ ,  $\tau(2P_4) = 20 \text{ нс}$ , эффективное сечение молекулы неона  $S_{\text{эфф}} = 6 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$ .

### Начальные условия:

Константы:

ln[1]:= **k = 1 k ;**

**c = 1 c ;**

ln[3]:= **pHe = 1 torr ;**

**pNe = 0.2 torr ;**

**λ = 632.8 nm ;**

**t = 400 K ;**

**τ3S2 = 60 ns ;**

**τ2P4 = 20 ns ;**

**sEff =  $\frac{3}{500\,000\,000\,000\,000\,000}$  cm<sup>2</sup> ;**

### Столкновительная:

Средний интервал времени между двумя последовательными столкновениями:

$$\text{ln[10]}:= \tau C[M\_ , T\_ , p\_ , a\_ ] := \sqrt{\frac{2}{3}} * \frac{1}{8 \pi} * \frac{\sqrt{M k T}}{p a^2} ;$$

- M - масса атома
- T - температура смеси

- $a$  - радиус атома
- $p$  - давление газа

Столкновительная ширина линии:

$$\text{In}[11]:= \Delta\nu_0[\tau_c] := \frac{1}{\pi \tau_c};$$

Дополнительная информация:

```
In[12]:= a = ElementData["Neon", "AtomicRadius"]; (*Радиус атома неона*)
m = ElementData["Neon", "AtomicMass"];
(*Атомная масса неона*)
```

Проводим расчеты:

```
In[14]:= \tau_{cNe} = UnitConvert[\tau_c[m, t, pNe, a], "Microseconds"]
```

```
Out[14]= 11.478 \mu s
```

```
In[15]:= \Delta\nu_0Ne = UnitConvert[\Delta\nu_0[\tau_{cNe}], "Kilohertz"]
```

```
Out[15]= 27.7321 kHz
```

## Естественная:

Естественная ширина линии разрешенного перехода:

$$\text{In}[16]:= \nu_{\text{Nat}}[\tau_{\text{sp}}] := \frac{1}{2\pi \tau_{\text{sp}}};$$

- $\tau_{\text{sp}}$  - излучательное время жизни

```
In[17]:= \nu_{\text{NatNe}} = UnitConvert[N[\nu_{\text{Nat}}[\tau_{2P4}]], "Megahertz"]
```

```
Out[17]= 7.95775 MHz
```

## Доплеровская

Доплеровская ширина линии:

$$\text{In}[18]:= \Delta\nu_{\text{Dop}}[\nu_0, T, M] := 2\nu_0 \sqrt{\frac{2kT \text{Log}[2]}{M c^2}};$$

$$\text{In}[19]:= \Delta\nu_{\text{DopNe}} = \text{UnitConvert}\left[\Delta\nu_{\text{Dop}}\left[\frac{c}{\lambda}, t, m\right], \text{"Gigahertz"}\right]$$

```
Out[19]= 1.51071 GHz
```

## Ответы:

Естественная:

```
In[20]:= Print["\nu_{\text{Nat}}=", \nu_{\text{NatNe}}]
```

```
\nu_{\text{Nat}} = 7.95775 MHz
```

Доплеровская:

```
In[21]:= Print["ΔνDop=", ΔνDopNe]
```

```
ΔνDop= 1.51071 GHz
```

**Столкновительная:**

```
In[22]:= Print["ΔνCo1=", Δν0Ne]
```

```
ΔνCo1= 27.7321 kHz
```

## Задача 2

Лазерная среда имеет доплеровский профиль усиления с шириной  $\Delta\nu = 2$  ГГц. Однородная ширина равна  $\Delta\nu_0 = 50$  МГц, а вероятность спонтанного перехода  $A = 10^8 \text{ с}^{-1}$ . Пусть частота одной из мод резонатора ( $L = 30$  см) совпадает с центральной частотой профиля усиления. Какова пороговая инверсия для центральной моды и при какой инверсии генерация начнется на соседних модах, если потери в резонаторе составляют 10%?

### Начальные условия:

```
In[23]:= Δν = 2 GHz ;
```

```
Δν0 = 50 MHz ;
```

```
a = 100 000 000 per second ;
```

```
l = 30 cm ;
```

```
γ = 0.1;
```

Пороговая инверсия:

$$N_c = \left( \frac{1}{B V_a} \tau_c \right) = \left( \frac{\gamma}{\sigma l} \right)$$

- $\gamma$  - потери в резонаторе.
- $\sigma$  - эффективное сечение вынужденного излучения
- $l$  - длина активной среды

Разность частот соседних продольных мод:

$$\Delta\nu = \frac{c}{2L}$$

Связь инверсии и скорости накачки:

$$\frac{N}{N_c} = \frac{R_p}{R_{pc}}$$

Вероятность спонтанного излучения для перехода:

$$A = \frac{16 \pi^3 \nu_0^3 n |\mu|^2}{3 h \epsilon_0 c^3}.$$

Доплеровское уширение:

$$\Delta\nu = 2 \nu_0 \sqrt{\frac{2 k T \ln 2}{M c^2}}.$$