

О СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ РТУТНОГО ЛАЗЕРА

И. М. Бетеров, В. М. Клементьев и В. П. Чеботаяев

Исследованы некоторые спектроскопические особенности ртутного лазера, обусловленные свойствами термов и изотопической структурой. Получены данные о механизмах возбуждения и разрушения уровней.

В работах [1, 2] мы отмечали интересные возможности использования ртутного лазера ($\lambda=1.5295$ мкм), в основе которых лежала обнаруженная в [1] изотопическая структура линии генерации. В настоящей работе нам хотелось бы обратить внимание на некоторые спектроскопические особенности этого лазера, обусловленные свойствами термов и изотопической структурой. Например, независимая генерация на отдельных компонентах изотопической структуры позволяет эффективно исследовать механизмы возбуждения и разрушения уровней. Так, нами было обнаружено нарушение пропорциональности между заселенностью уровня $7s^3S_1$ и концентрацией изотопов. Это явление, по-видимому, обусловлено различным эффективным временем жизни резонансного уровня 6^3P_1 для разных изотопов и является прямым доказательством связи ступенчатых процессов возбуждения с эффектом пленения резонансного излучения.

Другая важная особенность заключается в том, что относительная вероятность перехода $6p'^3P_2^0-7s^3S_1$ (рис. 1) равна единице [3]. Верхний уровень $6p'^3P_2^0$ является уровнем с двумя возбужденными электронами. Переход на более низкие уровни возможен лишь при перестройке электронной оболочки. Запрет частично снимается вследствие перемешивания электронных конфигураций и единственным возможным переходом является переход $6p'^3P_2^0-7s^3S_1$, при котором испускается линия 1.5295 мкм. Вклад этого каскада составляет примерно 25% от полной скорости возбуждения уровня $7s^3S_1$ [4]. Как известно, прямым доказательством того, что уровень $7s^3S_1$ является нижним уровнем лазера, является наблюдение модуляции интенсивности спонтанного излучения на линиях 5461, 4047, 4358 Å (рис. 1) из резонатора при модуляции поля лазера на $\lambda=1.5295$ мкм. В [5] было установлено, что изменение заселенности ΔN нижнего уровня $7s^3S_1$ в присутствии генерации равно

$$\Delta N = R_r \tau_1 (1 - \tau_2 A_{21}), \quad (1)$$

где R_r — скорость индуцированных переходов под действием поля в резонаторе лазера, τ_2 — время жизни верхнего уровня $6p'^3P_2^0$, A_{21} — вероятность спонтанного излучения на линии 1.5295 мкм, τ_1 — время жизни нижнего рабочего уровня лазера. В подавляющем большинстве лазеров выполняется условие $A_{21} \tau_2 < 1$ и всегда наблюдается модуляция спонтанного излучения на нижнем уровне. Иначе обстоит дело с линией генерации 1.5295 мкм. Спонтанное излучение на линии 1.5295 является единственным источником разрушения уровня $6p'^3P_2^0$ и $A_{21} \tau_2 = 1$.

Можно было ожидать, что модуляция генерации не должна приводить к модуляции заселенности уровня $7s^3S_1$. При небольших токах разряда

(~ 20 ма; $\varnothing_{\text{тр.}} \approx 4$ мм) и незначительных давлениях паров ртути ($P_{\text{Hg}} \approx 5 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст., $P_{\text{He}} = 1.5$ мм рт. ст.) поле действительно не изменяет заселенности уровня $7s^3S_1$. Однако увеличение давления паров ртути до $\sim 5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. привело к возникновению модуляции интенсивности спонтанного излучения на линии 5461 \AA , наблюдаемого сбоку от разрядной трубки.

На рис. 2 приведено отношение изменения интенсивности спонтанного излучения к мощности генерации в зависимости от тока разряда. Эта зависимость может быть объяснена изменением относительной вероятности $\tau_2 A_{21}$, которое обусловлено, по-видимому, разрушением уровня

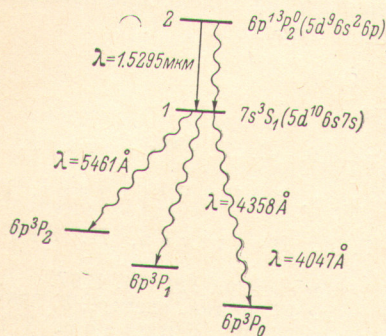


Рис. 1. Схема уровней.

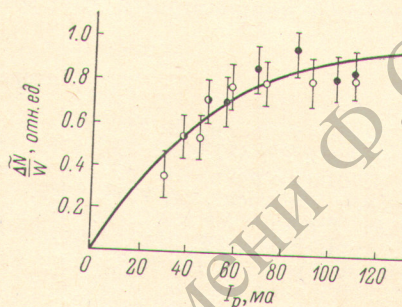


Рис. 2. Зависимость отношения изменения интенсивности спонтанного излучения с $7s^3S_1$ ($\lambda = 5461 \text{ \AA}$) к мощности генерации $\Delta N/W$ от тока разряда. $P_{\text{Hg}} \approx 5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.

$6p^3P_2^0$ электронами. Действительно, при этом

$$\tau_2 = \frac{\tau_{20}}{1 + n_e \tau_{20} \langle Q_p v \rangle}, \quad (2)$$

где n_e — концентрация электронов, Q_p — сечение разрушения, v — скорость электрона. Из (1, 2) следует

$$\frac{\Delta N}{R_r} = \left(1 - \frac{1}{1 + n_e \tau_{20} \langle Q_p v \rangle} \right). \quad (3)$$

Учтено, что $A_{21} \tau_{20} = 1$. Из (3) следует, что наличие разрушающих столкновений позволяет прямо наблюдать зависимость параметра насыщения от относительной вероятности перехода. Из измерений $\Delta N/R_r = f(I_p)$ (рис. 2) можно определить сечение разрушения уровня $6p^3P_2^0$ электронами. Оценка по формуле (3) дает величину $Q_p \approx 10^{-14} \div 10^{-15} \text{ см}^2$.

Обнаруженные эффекты делают возможной постановку ряда интересных исследований. В присутствии разрушения уровня $6p^3P_2^0$ электронами эффект насыщения в сильном монохроматическом поле должен привести к изменению распределения атомов по скоростям на уровне $7s^3S_1$. В спонтанном излучении на переходах с уровня $7s^3S_1$ должны возникнуть узкие линии, ширина которых составляет примерно $20 \div 30$ Мгц, т. е. порядка естественной ширины. Используя независимую генерацию на компонентах изотопической структуры в центрах линий и исследуя форму линии спонтанного излучения из резонатора ртутного лазера, можно с высокой точностью ($\sim 10^{-2}$) измерить изотопические сдвиги на переходах $7s^3S_1 \rightarrow 6p^3P_{0,1,2}$ (по методике, аналогичной описанной в [6, 7]), которые плохо разрешаются вследствие большого доплеровского уширения. Представляет интерес исследование уширения этих линий, обусловленного столкновениями, поскольку лазер работает в смесях паров ртути практически со всеми инертными газами.

На основе узких линий, возникающих в спонтанном излучении на длине волны $\lambda=5461 \text{ \AA}$, из резонатора, стабилизированного на центр линии Hg-лазера ($\sim 10^{-9}$), в принципе может быть создан эталон длины. Свойства такого эталона могут быть не хуже, чем у эталона длины на атомном пучке [8]. Интересно, что эталонный источник на Hg^{198} может быть реализован с использованием естественной ртуты, а не чистого изотопа Hg^{198} .

Наконец, отметим, что при низких давлениях, когда отсутствует модуляция заселенности уровня $7s^3S_1$, возможны наблюдения изменения формы линии спонтанного излучения в сильном поле (нелинейные интерференционные эффекты [$9-11$]) в отсутствие эффектов заселенностей. В этих условиях число атомов на уровне $7s^3S_1$ в присутствии поля не увеличивается, но форма линии спонтанного излучения изменяется вследствие возникновения частотной корреляции в двухфотонном переходе [10].

Литература

- [1] И. М. Бетеров, В. М. Клементьев, В. П. Чеботаев. Опт. и спектр., 25, 477, 1968; 26, 1712, 1969.
- [2] И. М. Бетеров, В. М. Клементьев, В. П. Чеботаев. Радиотехн. и электрон., 14, 2066, 1969.
- [3] R. A. Raappanen, C. L. Tang, F. A. Horrigan, H. Stats. J. Appl. Phys., 34, 3148, 1963.
- [4] С. Э. Фриш, А. Н. Ключарев. Опт. и спектр., 22, 174, 1967.
- [5] Л. С. Василенко, В. П. Чеботаев. Ж. прикл. спектр., 6, 536, 1967.
- [6] W. R. Bennett, V. P. Chebotayev, T. W. Knutson. V Intern. Conference on Phys. Electron, Atomic Coll., Leningrad, 1967 (abstracts).
- [7] R. H. Cordover, P. A. Bonczyk, A. Javan. Phys. Rev. Lett., 18, 1104, 1967.
- [8] R. L. Varger, K. G. Kessler. J. Opt. Soc., Am., 50, 651, 1960.
- [9] Г. Е. Ноткин, С. Г. Раутиан, А. А. Феоктистов. ЖЭТФ, 52, 1673, 1967; Т. Я. Попова, А. К. Попов, С. Г. Раутиан, Р. И. Соколовский. ЖЭТФ, 57, 850, 1969.
- [10] H. K. Holt. Phys. Rev. Lett., 19, 1275, 1967; 20, 410, 1968.
- [11] M. S. Feld, A. Javan. Phys. Rev., 177, 540, 1969.

Поступило в Редакцию
8 декабря 1969 г.