

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА НА НИЗКОЧАСТОТНЫЕ БИЕНИЯ В He—Ne ЛАЗЕРЕ

Е. Ю. Андреева, С. Н. Гуляев и Д. К. Терехин

Сообщаются результаты экспериментального исследования по влиянию давления на характер низкочастотных биений в продольном магнитном поле для линий $\lambda=0.63$ и $\lambda=3.39$ мкм неона. Обнаружено, что увеличение давления приводит к линейной зависимости частоты биений от напряженности магнитного поля. Показано, что действие столкновений атомов качественно одинаково для линий 0.63 и 3.39 мкм, но для перехода $3s_2-3p_4$ оно проявляется при меньших давлениях, что связано с различными значениями отношения γ_{ab}/ku . Полученные данные находятся в соответствии с теорией.

Исследование низкочастотных биений между двумя волнами с круговой σ^+ -поляризацией в одномодовом газовом лазере, помещенном в продольное магнитное поле, проводилось в ряде работ [1-6], причем наиболее интересный результат исследований состоял в том, что был обнаружен [4] и объяснен [1, 2] немонотонный ход зависимости частоты биений $\Delta\nu$ от напряженности поля H . Как показано в [1], эта особенность связана с наличием провалов в контуре линии усиления, следовательно, она должна быть характерна для неоднородно уширенной линии. Теоретические расчеты в [1-3] делались в предположении

$$\gamma_{ab}/ku \ll 1 \quad (1)$$

(где γ_{ab} и ku определяют однородную и доплеровскую ширины линии), а эксперименты проводились, как правило, на линиях генерации He—Ne лазера $\lambda=0.63$ и 1.25 мкм, для которых при обычных давлениях $p=1-2$ мм рт. ст. условие (1) выполняется.

Однако с увеличением давления рабочего газа столкновения приводят к росту величины γ_{ab} и к размытию провалов в контуре линии усиления. Это в свою очередь может повлиять на характер проявления магнитооптических явлений в газовом лазере.

Влияние давления газа на частоту биений $\Delta\nu$ можно качественно рассмотреть, используя результаты теории. Согласно [2], для случая нулевой расстройки δ моды резонатора относительно центральной частоты линии ν_0 и при $\Omega \ll ku$ получаем

$$\Delta\nu = \frac{\nu_0 \Omega}{Qku} \left[\frac{N}{N_0} \left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} - \frac{ku\gamma_{ab}}{\Omega^2 + 2\gamma_{ab}^2} \right) + \frac{ku\gamma_{ab}}{\Omega^2 + 2\gamma_{ab}^2} \right], \quad (2)$$

где $\Omega = g\mu H$ — зеемановское расщепление, N/N_0 — отношение накачки к ее пороговому значению, Q — добротность резонатора.

Чтобы определить, при какой накачке величина $\Delta\nu = \nu_+ - \nu_-$ может стать отрицательной, достаточно рассмотреть область малых магнитных полей, где $\Omega^2 \ll 2\gamma_{ab}^2$. Из (2) находим соответствующий уровень накачки

$$\frac{N}{N_0} > \frac{1}{1 - \frac{4\gamma_{ab}}{ku\sqrt{\pi}}}. \quad (3)$$

Если γ_{ab} считать полной однородной шириной линии, то из (3) следует, что с ростом давления газа величина накачки, необходимой для наблюдения отрицательных значений $\Delta\nu$, возрастает. При достаточно больших давлениях газа немонокотность зависимости $\Delta\nu(H)$ должна исчезать и при высоких уровнях интенсивности излучения лазера.

На рис. 1 приведены зависимости $\Delta\nu(H)$ для лазера на линии $\lambda = 0.63$ мкм при $\delta = 0$. Кривая 1 соответствует генерации вблизи порога ($N \sim N_0$), 2 и 3 получены при высокой интенсивности излучения лазера $I_2 = I_3 \gg I_1$. Кривая 2 представляет собой типичную немонокотную зависимость $\Delta\nu(H)$ с широкой областью отрицательных значений $\Delta\nu$.¹ С ростом давления газа эта область исчезала, и при $p = 5$ мм рт. ст. затягивание становилось линейным (кривая 3), как в припороговом режиме.

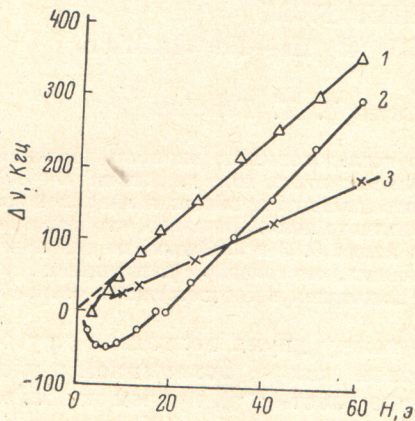


Рис. 1. Зависимость частоты биений $\Delta\nu$ от напряженности магнитного поля H .

$\lambda = 0.63$ мкм, $\delta = 0$, $I_2 = I_3 \gg I_1$, 1 — $p = 1$, 3 — $p = 5$ мм рт. ст.

Различие углов наклона линий 1 и 3 связано с различными значениями добротности резонатора Q , так как изменение интенсивности излучения осуществлялось изменением не только тока разряда, но и юстировки резонатора. Таким образом, эксперимент подтверждает вывод, сделанный на основании выражения (3). Повышение давления смеси приводит также к увеличению области захвата, в которой биения отсутствуют и наблюдается поворот плоскости поляризации. Если при $p = 1$ мм рт. ст. поворот на угол $\mu = 45^\circ$ происходит при напряженности магнитного поля $H \sim 0.6$ э, то для давления $p = 5$ мм рт. ст. такой поворот и возникновение биений наблюдаются при поле в несколько эрстед. Такое «замедление» вращения, по-видимому, связано с перемешиванием магнитных подуровней за счет столкновений.

Приведенные результаты показывают, что исследование низкочастотных биений в одномодовом газовом лазере позволяет получить информацию о влиянии давления газа на однородную ширину линии γ_{ab} , а следовательно, и на характер уширения линии. Большой интерес в этом смысле представляет линия He—Ne лазера $\lambda = 3.39$ мкм, доплеровская ширина которой сравнительно невелика ($k\nu \sim 200$ Мгц), а величина γ_{ab} , например, по данным [7], достигает 75 Мгц/тор.

Низкочастотные биения в лазере с длиной волны $\lambda = 3.39$ мкм изучались в работе [8]. Авторы [8] получили линейную зависимость $\Delta\nu(H)$ с наклоном 650 кгц/э и обнаружили, что величина $\Delta\nu$ слабо зависит от интенсивности излучения и расстройки δ . Эти результаты получены при давлении газа $p = 2$ мм рт. ст. В настоящей работе исследование проводилось в диапазоне изменения давления от 0.6 до 3 мм рт. ст. Лазер с внешними зеркалами и перпендикулярными окнами имел длину резонатора $L_p = 30$ см и диаметр разрядной трубки $d = 2-3$ мм. Поперечные моды подавлялись диафрагмой. Интенсивность излучения изменялась с помощью тока разряда. Соотношение компонент смеси, как и в лазере на линии $\lambda = 0.63$ мкм, составляло $p_{Ne} : p_{He} = 1 : 5$.

На рис. 2 представлены зависимости частоты биений $\Delta\nu$ от напряженности продольного магнитного поля H , относительной интенсивности I и расстройки δ . Большая по сравнению с линией $\lambda = 0.63$ мкм величина $\Delta\nu$ обусловлена низкой добротностью резонатора. Действительно, при изменении коэффициента отражения выходного зеркала ρ_1 от 88 до 20% ($\rho_2 = 100\%$) для случая линейного затягивания наклон прямой $\Delta\nu(H)$

¹ Знак частоты биений определялся по методике, приведенной в [5].

изменялся от 0.25 до 1 Мгц/э, что достаточно хорошо совпадает с рассчитанными по формуле линейного затягивания значениями $\Delta\nu$ при соответствующих величинах добротности Q . Все результаты рис. 2 получены для коэффициентов отражения зеркал $\rho_1=42\%$ и $\rho_2=88\%$.

Обращает на себя внимание сильное влияние давления на форму кривых. При $p=1$ мм рт. ст. все зависимости типичны для случая неоднородно

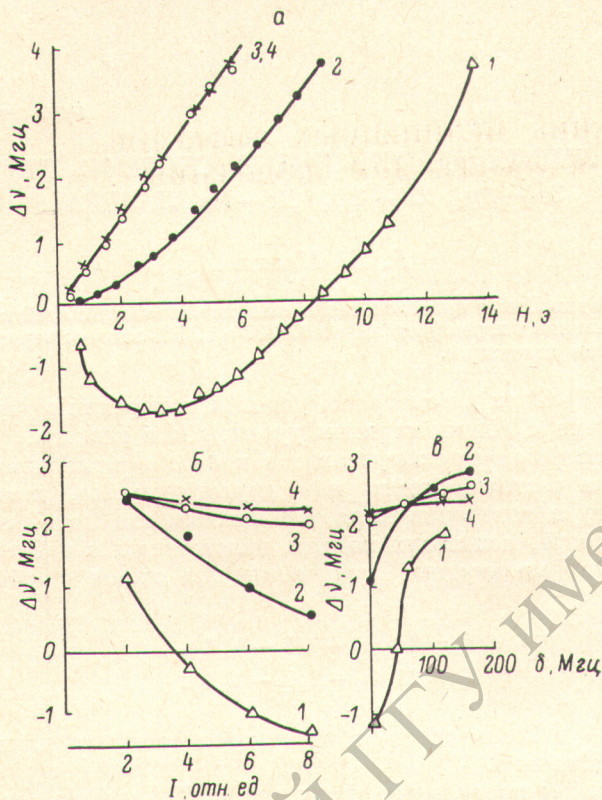


Рис. 2. Зависимость частоты биений $\Delta\nu$ от напряженности магнитного поля H (а), относительной интенсивности излучения I (б) и расстройки δ (в) для линии $\lambda=3.39$ мкм.

а — $\delta=0$, $I=\text{const}$; б — $H=3\delta=0$; в — $H=3\delta$, $I=\text{const}$; 1 — $p=1$, 2 — $p=1.5$, 3 — $p=2$, 4 — $p=3$ мм. рт. ст.

родно уширенной линии, хотя область отрицательных значений $\Delta\nu$ составляет всего $\Omega - 14$ Мгц. При давлениях $p \geq 2$ мм рт. ст. нелинейные явления подавляются и степень затягивания почти перестает зависеть от накачки и частоты генерации, что характерно для однородного уширения.

Сравнение рис. 1 и 2 показывает, что действие столкновений атомов качественно одинаково для линий 0.63 и 3.39 мкм, но для перехода $3s_2 - 3p_4$ оно проявляется при меньших давлениях, что связано с различными значениями отношения $\gamma_{ab}/k\nu$.

Литература

- [1] М. И. Дьяконов. ЖЭТФ, 49, 1169, 1965.
- [2] М. И. Дьяконов, В. И. Перель. ЖЭТФ, 50, 448, 1966.
- [3] W. E. Lamb Jr., M. Sargent III, R. L. Fork. Phys. Rev., 164, 450, 1967.
- [4] W. Culshaw, I. Kannelaud. Phys. Rev., 133, A691, 1964.
- [5] W. I. Tomlinson, R. L. Fork. Phys. Rev., 164, 466, 1967.
- [6] Д. К. Терехин, Е. Ю. Андреева, С. А. Фридрихов. Ж. прикл. спектр., 14, 53, 1971.
- [7] А. Ф. Мухамедгалиева, В. М. Татаренков, А. Н. Титов, А. В. Успенский. Опт. и спектр., 30, 798, 1971.
- [8] М. В. Ладыгин, В. А. Царьков. Опт. и спектр., 30, 133, 1971.

Поступило в Редакцию 5 июля 1972 г.