

СТОЛКНОВИТЕЛЬНОЕ УШИРЕНИЕ ЛИНИИ 1.53 МКМ РТУТИ В СМЕСИ Hg—Ne, Hg—Ne

К. А. Бикмухаметов, В. М. Клементьев и В. П. Чеботаев

Приводятся результаты исследований по столкновительному уширению линии генерации ртути $6p^3P_2^0-7s^3S_1$ ($\lambda=1.53$ мкм) в зависимости от давления Ne и Ne. Показано, что уширение гелием равно 16 ± 1.2 Мгц/мм рт. ст., а неон 10.5 ± 0.5 Мгц/мм рт. ст. Описывается установка и методика эксперимента.

Столкновительное уширение линии излучения лазера является важным фактором с точки зрения построения высокостабильных лазеров. Поэтому естественно, что в ходе создания таких лазеров необходимо определение уширения лазерной линии в зависимости от давления примесного газа. В то же время измерения уширения линии позволяют получать данные для изучения физики столкновительных процессов, происходящих между нейтральными атомами рабочей смеси газов лазера. Как известно, явление уширения спектральной линии определяется потенциалом взаимодействия между излучающим и возмущающим атомами. Однако количественное определение этих потенциалов взаимодействия затруднительно обычно из-за отсутствия точных измерений уширения и сдвига исследуемых линий от давления примесного газа, а также из-за ограниченного числа применяемых разного сорта возмущающих атомов. К сожалению, в газовых лазерах, позволяющих осуществлять достаточно точные измерения без применения сложной аппаратуры, обычно используется строго определенный состав газа, а число сочетаний сталкивающихся атомов невелико. С этой точки зрения интересным инструментом для исследования атомных столкновений является, на наш взгляд, лазер на парах ртути. Интерес обусловлен тем, что он способен работать как на парах чистой ртути, так и на смеси ртути с инертными газами, а также с газами типа N_2 , H_2 и др. в диапазоне давлений $5 \cdot 10^{-3} \div 1$ мм рт. ст. Благодаря этому обстоятельству столкновительные явления можно исследовать в широком спектре газов, что может способствовать выявлению тех или иных физических закономерностей.

Настоящая работа посвящена исследованию уширения линии излучения ртути на переходе $6p^3P_2^0-7s^3S_1$ ($\lambda=1.5295$ мкм) в смеси Hg—Ne, Hg—Ne.

Методика эксперимента и экспериментальная установка

Методика эксперимента, применяемая в таких исследованиях, состоит в получении зависимости мощности генерации одномодового лазера от его частоты с последующей обработкой полученной кривой по провалу Лэмба, параметры которого определяются константами релаксации верхнего и нижнего рабочего перехода и деталями механизма соударений.

Для определения величины уширения по провалу в зависимости от давления He и Ne использована теория, изложенная в [1], согласно которой выходная мощность на произвольной частоте ν выражается в виде

$$W(\nu) = W_0 \frac{\eta^{-1} - \exp\left[-\left(\frac{\Omega}{k\nu}\right)^2\right]}{1 + \frac{\Gamma^2}{\Gamma^2 + \Omega^2}} \frac{2}{1 - \eta^{-1}}, \quad (1)$$

где W_0 — мощность на центральной частоте ν_0 , $\Omega = \nu - \nu_0$, k — волновое число, ν — средняя скорость атомов ртути, η — относительное возбуждение. Выражение (1) справедливо для малых η . Однако уже при значениях $\eta = 1.1 \div 1.2$ поле излучения лазера может давать некоторый вклад Γ_{II} в уширение линии. Поэтому целесообразно в значение Γ вкладывать добавку Γ_{II} так, что

$$\left. \begin{aligned} \Gamma &= \Gamma_{\text{лор.}} + \Gamma_{II}, \\ \Gamma_{\text{лор.}} &= \Gamma_{\text{ест.}} + \Gamma_{\text{ст.}} \end{aligned} \right\} (2)$$

где $\Gamma_{\text{лор.}}$ — лорентцовская полуширина, $\Gamma_{\text{ест.}}$ — естественная полуширина, $\Gamma_{\text{ст.}}$ — уширение линии за счет столкновения.

Наши эксперименты проводились при значениях $\eta = 1.1 \div 1.4$. Можно ожидать, что в этом случае поле вносит определенный вклад в уширение. Формула (1) применялась в случае малых давлений ($P = 10^{-2} \div 0.5$ мм рт. ст.) и при условии, что $\Gamma \ll kv$.

Блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Длина активной части разряда составляла 250 мм, а диаметр разрядной трубки 2.5 мм. Отросток с ртутью помещался в середине разрядной трубки; поддерживалась температура 50°C . Длина резонатора составляла 427 мм, что позволило получить последовательную генерацию на изотопах Hg^{200} и Hg^{202} [2]. С целью исключения генерации на 1.8 мкм применялись интерференционные зеркала с коэффициентом отражения 93 и 99.8% на длине волны 1.53 мкм . Поперечные типы колебаний устранялись с помощью диафрагмы, которая была выполнена в виде двух перемещающихся взаимно перпендикулярных пластин, расположенных внутри резонатора. Перестройка резонатора по частоте осуществлялась с помощью пьезокерамике с нелинейностью 3–4% по напряжению. Для исключения шумов разряда был использован ВЧ разряд. Выходная мощность регистрировалась фотодиодом типа ФД-3, с которого сигнал поступал на осциллограф либо на самописец. Измерения проводились при давлениях He и Ne в области $0.1 \div 0.5$ мм рт. ст. Примесный газ в разрядную трубку подавался с помощью калиброванного порционного крана. Давление ртути поддерживалось равным $2 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. и определялось по известным таблицам (см., например, [3]) по заданной температуре ртутного отростка.

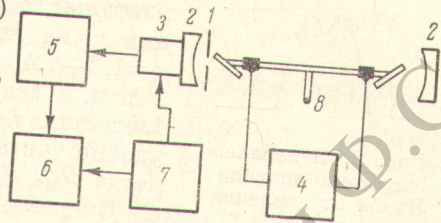


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки.

1 — диафрагма, 2 — диэлектрическое зеркало, 3 — пьезокерамика, 4 — ВЧ генератор, 5 — фотодиод, типа ФД-3, 6 — двухкоординатный самописец ПДС-021, 7 — генератор пилообразного напряжения, 8 — отросток с ртутью.

Результаты эксперимента и их обсуждение

На рис. 2. приведена серия записей зависимости мощности излучения от частоты резонатора при различных давлениях гелия в смеси Hg—Ne и при одинаковых значениях относительного возбуждения η . Из рис. 2 видно, что провал Лэмба сглаживался при давлении гелия ~ 1.5 мм рт. ст. Аналогичные записи были получены для смеси Hg—Ne, из которых следовало, что провал сглаживается при давлении неона ~ 2.1 мм рт. ст. Сравнение показало, что при одинаковых давлениях гелия и неона кон-

трастность провала Лэмба в смеси Hg—Ne больше, чем в смеси Hg—He, откуда ясно, что уширение гелием от давления происходит больше. Отметим, что использование режима работы Hg-лазера при сглаженном провале может быть целесообразно в тех случаях, когда наличие явлений затягивания нежелательно.

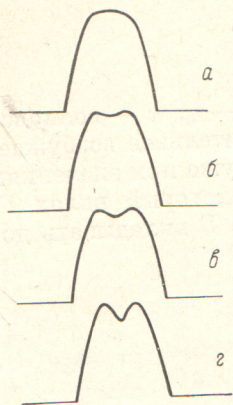


Рис. 2. Изменение глубины провала Лэмба от давления гелия.

$a - 1.5, б - 1.06, в - 0.60, г - 0.15$ мм рт. ст.

в зависимости от давления гелия составляет $\sim 16 \pm 1.2$ Мгц/мм рт. ст., а в зависимости от давления неона $\sim 10.5 \pm 0.5$ Мгц/мм рт. ст. Из этого же рисунка с очевидностью следует также, что уширение пропорционально

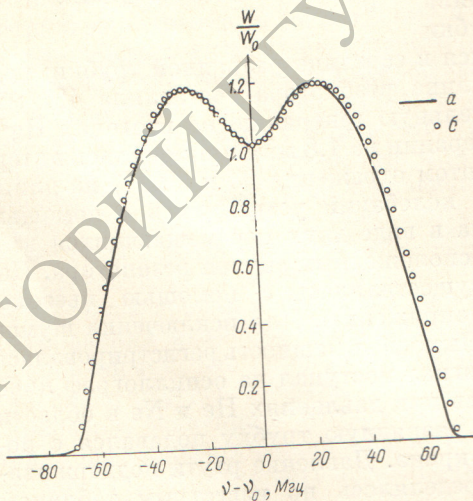


Рис. 3. Зависимость мощности генерации от частоты Hg-лазера.

a — экспериментальная кривая, $б$ — теория.

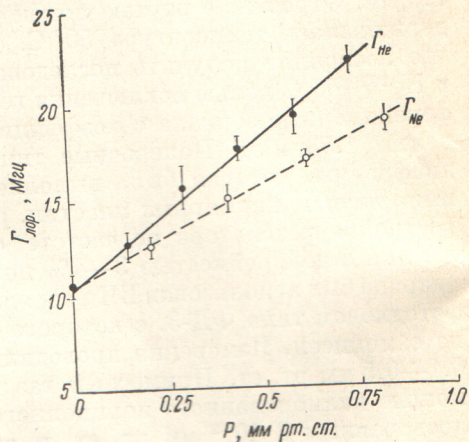


Рис. 4. Уширение провала Лэмба в зависимости от давления гелия и неона.

концентрации возмущающих частиц. В этом плане результат измерений совпадает с выводами теории ударного уширения. Однако физическая интерпретация полученных уширений без знания величины и характера сдвигов, без изучения некоторых параметров представляется мало надежной. Здесь можно отметить только, что при сравнении отношений, уширений, полученных экспериментально и теоретически на основе потенциала взаимодействия Леннарда—Джонса, обнаруживается совпадение их значе-

ний с точностью до 5%. Предварительные экспериментальные измерения сдвигов от давления гелия и неона показали, что их величина примерно равна 1 Мгц на 1 мм рт. ст. Такой сдвиг в несколько раз меньше, чем это следует, исходя из вандерваальсовских сил взаимодействия.

По значениям лорентцовой полуширины $\Gamma_{\text{лор.}}$, полученным при работе лазера в чистых парах ртути, были сделаны оценки времени жизни верхнего уровня $6p^{\prime 3}P_2^0$. Оно оказалось равным $\sim 2 \cdot 10^{-7}$ сек. ($\tau_{7s} = (0.8 \pm \pm 0.1) \cdot 10^{-8}$ сек. [4]).

В заключение отметим, что полученные характеристики рабочего перехода Hg-лазера, имея в виду сравнительно малые уширения линии от P_{He} , P_{Ne} и хорошую контрастность провала ($\sim 25\%$), позволяют надеяться построить высокостабильный ртутный лазер со стабильностью 10^{-11} . В настоящее время нами создан Hg-лазер со стабильностью $2 \cdot 10^{-10}$ при времени усреднения 10 сек.

Литература

- [1] W. E. Lamb. Phys. Rev., 134, 1429, 1964.
- [2] И. М. Бетеров, В. М. Клементьев, В. П. Чеботаев. Опт. и спектр., 27, 388, 1969.
- [3] Дж. Кэй, Т. Лэби. Таблицы физических и химических постоянных, 140. Физматгиз, М., 1962.
- [4] J. A. Richard, T. P. Lee Edward, C. Lin Chum. Phys. Rev., 157, 31, 1964.

Поступило в Редакцию 23 декабря 1971 г.