

3. Г. С. Падо, И. Б. Кобеков, Л. С. Сысоев. Пьезоэлектрические и упругие свойства сульфида кадмия в интервале температур 1,5—300° К.— ФТТ, 1968, т. 11.
4. И. Б. Кобеков, Г. С. Падо. Исследование электрических упругих свойств гексагонального сульфида цинка в интервале температур 1,5—300° К.— ФТТ, 1967, т. 9.
5. I. P. Kaminow, E. H. Turner. Electrooptic light modulators.— Appl. Optics, 1966, v. 5.

*Поступило в редакцию  
9 мая 1972 г.*

УДК 621.375.9 : 535

И. А. МИХАЛЬЦОВА

(Новосибирск)

### ЧАСТОТНЫЙ СДВИГ МИНИМУМА ПРОВАЛА ЛЭМБА В ОТПАЯННЫХ ГЕЛИЙ-НЕОНОВЫХ ЛАЗЕРАХ

**Введение.** Использование гелий-неоновых лазеров в качестве источников излучения при измерении длин, перемещений, ускорений и т. п. приводит к необходимости стабилизации длины волны, которая осуществляется обычно привязыванием излучения лазера к линии спонтанной эмиссии неона. В этом случае длина волны зависит от давления в лазерной трубке, которое может отличаться от трубки к трубке или, что более существенно, падает за время работы лазера из-за ухода гелия через стенки и поглощения неона при распылении катода.

Известно несколько работ, посвященных исследованию влияния давления на частоту линии 0,63 мкм гелий-неонового лазера [1—3]. В [1, 2] с помощью гетеродинной техники измерялась частота биений двух лазеров, стабилизированных с помощью ячейки Зеемана [1] или по провалу Лэмба [2]. Во время измерений давление в одном из лазеров (или в данной из ячеек) было постоянным, в другом изменялось или полное давление, или давление  $^3\text{He}$ . В [3] длина волны лазера, соответствующая центру провала Лэмба, измерялась непосредственно интерференционным методом при различных давлениях гелия и неона. В упомянутых работах получен сдвиг в красную область порядка 18—23 МГц при уменьшении давления на 1 мм рт. ст.

Поскольку скорость обеднения газом отпаянных лазерных трубок определяется их конструкцией, технологией изготовления, качеством материалов и т. д., целью настоящей работы явилось измерение ухода частоты гелий-неоновых лазеров, описанных в [4], за время их службы.

**Методика.** Измерения проводились с четырьмя лазерами, имеющими разрядные трубки с активной длиной 10 см и диаметром капилляра 1 мм, изготовленные по одинаковой технологии, данной в [4]. Начальные полные давления в трубках и соотношения компонентов приведены в таблице. Одна из трубок была отпаяна за несколько суток до измерений и проработала от 8 до 30 ч с учетом времени проведения экспериментов; сроки службы других трубок указаны в таблице. Наблюдения за качеством провала и мощностью генерации лазера с трубкой № 4 показали постоянство этих параметров, поэтому можно сделать вывод, что давление в трубке за время экспериментов не изменялось. Лазер с трубкой № 4 принимался за эталонный, частотные сдвиги излучения остальных трех лазеров оценивались по отношению к нему.

Частота генерации лазеров приводилась к центру провала Лэмба следующим образом. Синусоидальное напряжение, подаваемое на пьезокерамику лазера, вызывает амплитудную модуляцию выходного излучения — «сигнал рассогласования», который после преобразования фотодиодом поступает на избирательный усилитель с полосой 40 Гц и коэффициентом усиления 1000, настроенный на частоту возмущающего напряжения. Усиленный сигнал наблюдался на осциллографе. Ручной регулировкой посто-

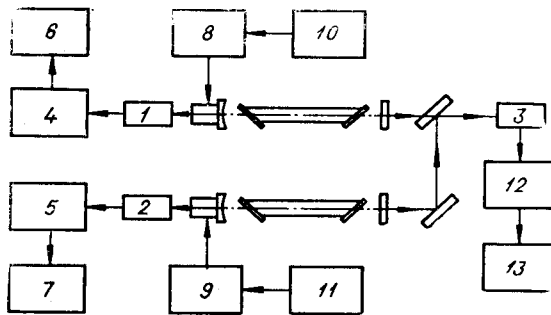
Лазер	Трубка	Начальное полное давление, мм рт. ст.	Начальное соотношение компонентов 3:20:Ne	Количество рабочих часов ко времени измерения	Количество суток со дня изготовления	Частотный сдвиг по отношению к эталонному лазеру, МГц	Средняя квадратичная погрешность результата измерений, МГц
I	№1	3,46	7,2:1	5080	311	7,04	0,45
II	№2	3,45	8:1	700	117	4,66	0,34
III	№3	3,31	9,6:1	200	62	4,57	0,55
Эталонный	№4	3,41	10:1	8÷30	4÷6	—	—

янного напряжения смещения, подаваемого на пьезокерамику от стабилизированного источника, добивались нулевого значения сигнала рассогласования. В этот момент собственная частота резонатора лазера совпадает с минимумом провала Лэмба. Для испытываемого и эталонного лазеров применялись две отдельные системы настройки на провал.

Частотный сдвиг испытываемого лазера по отношению к эталонному измерялся путем получения частотных биений излучений двух лазеров на фотокатоде ФЭУ-83 с последующим усилением сигнала биений широкополосным услителем УЗ-7А и наблюдением его на анализаторе спектра С4-8. Блок-схема измерений показана на рисунке. Работа лазеров с возмущением длины резонатора дает в результате значительное уширение полосы частотных биений, поэтому после настройки лазеров на провал возмущающее синусоидальное напряжение уменьшалось до нуля, после чего производилось измерение частоты биений.

Для повышения точности измерений был принят ряд мер. Лазеры, оптические детали и фотоумножитель помещались на одном общем основании, жестко закрепленном на массивном оптическом столе, установленном на земляном полу здания для уменьшения воздействия тряски, ударов и т. д. До начала измерений лазеры и все измерительные приборы находились во включенном состоянии не менее 2 ч для того, чтобы установилась температура помещения. Во время измерений в помещении не проводились другие работы. Неточность настройки лазеров на центр провала Лэмба компенсировалась увеличением числа измерений до 30.

**Результаты.** Полученные величины сдвигов частоты излучения лазеров представлены в таблице. Прежде всего надо отметить, что уходы частоты излучения лазеров оказались незначительными; наибольший сдвиг, полученный для лазера с трубкой, проработавшей 5080 часов, составил 7 МГц. Это изменение частоты соответствует изменению длины волны на  $0,93 \cdot 10^{-8}$  мкм. Основываясь на результатах работ [1—3] и выводах, сделанных в [4] относительно исследуемого типа лазеров, мы считаем, что измеренные сдвиги направлены в красную область. Отсутствие пропорциональности между сроком службы трубок и величиной частотного сдвига может объясняться рядом причин. Так, в трубке № 3 начальное давление гелия было меньше на 0,1 мм рт. ст., чем в эталонной (давления неона одинаковые); следовательно, разность частот этих лазеров сразу после отпайки должна была составить 2,3 МГц (на основании результатов Энгельгардта [3]). Это значит, что уход частоты за последующие 200 ч работы составил 2,2 МГц. Возможно, что в первые 200—300 ч работы отпаянной трубки продолжается еще насыщение стенок и катода газом, затем этот процесс стабилизируется и дальше изменения происходят медленно до тех пор, пока не начнется резкое поглощение неона при распылении катода. В этом случае генерация резко падает в течение 2—3 дней и трубка выходит из строя. Но вероятнее всего, что в трубках № 2 и № 3 по каким-то причинам давление падало быстрее, чем в трубке № 1, о чем говорит и значительно меньший



Блок-схема измерений разности частот двух лазеров:

1, 2, 3 — фотоприемник; 4, 5 — избирательный усилитель; 6, 7 — электроннолучевой осциллограф; 8, 9 — генератор синусоидального напряжения; 10, 11 — стабилизированный источник питания; 12 — широкополосный усилитель; 13 — анализатор спектра.

срок жизни этих трубок. Действительно, трубка № 1 проработала 5500 ч, а трубки № 2 и 3 1000 и 800 соответственно. Трубка № 4 служит до сих пор.

В заключение надо сказать, что изменения длины волны, происходящие в течение длительной работы лазеров, составляют не более  $10^{-8}$  мкм, что не должно сказываться на точности лазерных интерферометров и других измерительных приборов, построенных на их основе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. A. D. White. Pressure and Current — Dependent Shifts in the Center Frequency of the Doppler — Broadened ( $2p_4 - 3s_2$ ) 6328 — Å  $^{20}\text{Ne}$  Transition.— Appl. Phys. Letters, 1967, № 10.
2. T. P. Sosnowsky and W. B. Jonson. Frequency Shifts of the Lamb Dip Minimum in the Helium-Neon Laser.— IEEE J., QE5, 1969.
3. E. J. G. Engelhard and Kamal Abdel-Hady Mohamed. Pressure — Wavelength Relationship of the 6328 — Å Helium-Neon Laser Emission.— JOSA, 1971, v. 61, № 2.
4. Г. А. Ленкова, А. И. Лохматов, И. А. Михальцова. Одночастотный стабилизированный гелий-неоновый лазер.— Автометрия, 1971, № 1.

Поступило в редакцию  
26 мая 1972 г.

УДК 621.373.8+681.3.06

Г. А. БАРИЛЛ, Ф. А. ЖУРАВЕЛЬ, В. С. СОБОЛЕВ  
(Новосибирск)

#### ОЦЕНКА МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ЛАЗЕРНЫХ ДОППЛЕРОВСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ СКОРОСТИ ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЭВМ

В доплеровских устройствах измерения скорости потоков выходной сигнал можно считать результатом суперпозиции радиопульсов, посылаемых отдельными рассеивающими частицами, одновременно находящимися в исследуемом объеме. В условиях ламинарного безградиентного потока, когда частота сигнала от каждой частицы, пропорциональная скорости, не зависит от координат и одинакова для всех рассеивающих частиц, результирующий выходной сигнал для дифференциальных оптических схем [1] может быть представлен в следующем виде:

$$I(t) = \sum_{n=1}^N a_n F(t - t_n) \{1 + \cos[\omega_d(t - t_n)]\} = I(t)_{\text{н.ч}} + I(t)_{\sim}, \quad (1)$$

где  $I(t)$  — выходной ток фотоприемника;  $I(t)_{\text{н.ч}}$  и  $I(t)_{\sim}$  — соответственно низко- и высокочастотная составляющие выходного тока;  $\omega_d$  — доплеровская частота;  $t_n$  — момент вхождения  $n$ -й частицы в исследуемую область потока;  $N$  — случайное число частиц, одновременно находящихся в исследуемом элементарном объеме;  $F(t - t_n)$  — огибающая сигнала, определяемая геометрией и оптической схемой устройства;  $a_n$  — случайная амплитуда.

Как следует из (1), результирующий выходной сигнал является случайной функцией концентрации и скорости рассеивающих частиц, определяющих собой значения  $N$  и  $t_n$  в выражении (1). Из (1) также вытекает, что в результате наложения нескольких амплитудно-модулированных сигналов от отдельных частиц происходит паразитная фазовая модуляция, вызывающая дисперсию частоты результирующего сигнала, что дает прямую методическую погрешность измерения мгновенной скорости. В связи с этим актуальна задача оценки среднеквадратичной погрешности измерения скорости, а так-