

ОПТИЧЕСКИЙ СТАНДАРТ ЧАСТОТЫ С ПУЧКОВОЙ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ ЯЧЕЙКОЙ

Ю. М. Малышев, В. М. Татаренков, А. Н. Тимоф

Лазеры с нелинейно поглощающей газовой ячейкой, насыщаемой полем электромагнитной волны, наряду со спектроскопическими приложениями играют особо важную роль в создании стандартов частоты оптического диапазона [1]. В настоящее время наиболее высокие результаты по воспроизводимости частоты лазерного излучения получены на He — Ne ОКГ ($\lambda = 3,39 \text{ мкм}$) с внутренней метановой поглощающей ячейкой, стабилизируемом по вершине пика мощности, который возникает при насыщении колебательно-вращательного перехода $\nu_3 [P(7)]$ молекул метана [2]. Одним из основных источников погрешности воспроизведения частоты у подобного типа генераторов является сдвиг линии поглощения из-за столкновений молекул друг с другом. Стремление уменьшить величину этого сдвига заставляет работать при очень низких давлениях газа в поглощающей ячейке. При этом однако резко падает амплитуда пика, ухудшается отношение сигнал-шум, что в свою очередь приводит к ограничению достигаемой стабильности и воспроизводимости частоты газового ОКГ.

Сдвиг спектральной линии, вызванный столкновениями частиц между собой, можно практически исключить, если использовать вместо газа пучки атомов или молекул. Однако, в видимом и инфракрасном диапазонах спектра линия поглощения молекулярного пучка за счет остаточной расходимости пучка остается доплеровски уширенной, а ее ширина во много раз превосходит однородную ширину линии. Поэтому, как и в случае газовой нелинейно поглощающей ячейки, для получения предельно узких резонансов мощности целесообразно использовать явление насыщения доплеровской линии поглощения полем электромагнитной волны.

Настоящая работа посвящена первым результатам по наблюдению насыщения поглощения пучка молекул при резонансном взаимодействии с полем излучения газового ОКГ. Эксперименты проводились на He-Ne-лазере с длиной волны излучения 3,39 мкм и пучком молекул метана. Используемый колебательно-вращательный переход $\nu_3 [P(7)]$ молекул CH_4 обладает весьма малой радиационной шириной и поэтому молекула метана является подходящим и интересным объектом для подобных исследований.

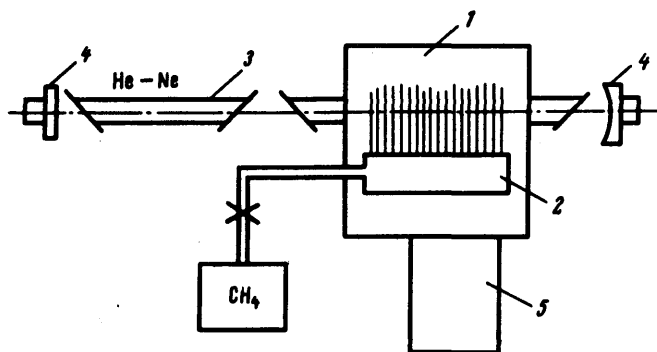


Рис. 1. Блок-схема установки: 1.— вакуумная камера; 2 — источник молекулярного пучка; 3.— усилительная трубка; 4.— лазерные зеркала; 5 — вакуумный агрегат

Отметим, отличительные особенности экспериментальной установки, схематически изображенной на рис. 1. Основным элементом установки являлась вакуумная камера, в которой создавался пучок молекул. Формирование пучка осуществлялось многоканальным источником, представляющим собой пакет стеклянных капилляров диаметром 0,1 и длиной 3,5 мм. Эффективная длина источника составляла 200 мм, а высота 2,5 мм. Интенсивность пучка регулировалась изменением давления в камере источника. Пучок молекул направлялся перпендикулярно оси резонатора ОКГ, поскольку за возникновение пика мощности "ответственны" частицы, пересекающие световой луч под прямым углом.

Усилительная труба лазера заполнялась смесью гелия и неона при отношении парциальных давлений 20 : 1 и общем давлении 5,4 тор. Использование природной смеси изотопов атомов Ne^{20} и Ne^{22} при указан-

ном давлении позволяет осуществить совпадение вершины линии усиления с переходом ν_3 [$P(7)$] молекул метана [3]. Плотность поля внутри резонатора подбиралась экспериментально из условия оптимального насыщения исследуемого молекулярного перехода. Наблюдалась зависимость интенсивности выходного излучения лазера от частоты генерации. Сканирование частоты генерации осуществлялось изменением длины резонатора с помощью пьезокерамических цилиндров, на которых укреплялись лазерные зеркала.

Очень узкий, резонансный пик мощности в выходном излучении лазера надежно регистрировался при суммарном потоке молекул из источника $6 \cdot 10^{17}$ мол/сек и возрастал с увеличением интенсивности пучка. Максимальная величина пика составляла 0,4% от полной выходной мощности лазера и соответствовала потоку частиц $(5 \div 6) \cdot 10^{18}$ мол/сек. Типичная осциллограмма интенсивности выходного излучения ОКГ от частоты генерации приведена на рис. 2. Полная ширина пика мощности на полувысоте составляла ≈ 60 кГц (добротность пика $\approx 1,5 \cdot 10^9$) и практически не зависела от интенсивности молекулярного пучка. В нашем случае ширина резонанса определялась временем взаимодействия молекул с электромагнитным полем.

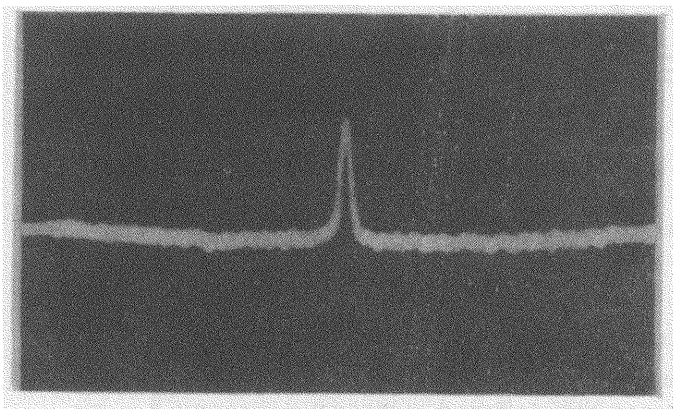


Рис. 2

Следует подчеркнуть, что использование молекулярного пучка вместо газообразной среды позволяет получить значительно более контрастный пик мощности, так как при одном и том же числе частиц в $см^3$, число молекул, резонансно взаимодействующих с полем, в случае молекулярного пучка значительно выше. Относительная величина резонанса мощности может быть значительно увеличена (по сравнению с данным экспериментом) при использовании более совершенного источника пучка и откачной системы с большей производительностью.

Отметим, что наблюдение эффекта насыщения в линии поглощения молекулярного пучка возможно и на других молекулах, имеющих малые радиационные ширины линий и частоту перехода, попадающую в область генерации газовых ОКГ. Например, при насыщении линии поглощения пучка молекул SF_6 полем излучения CO_2 -лазера.

Лазер с пучковой пелинейно поглощающей ячейкой, помимо применения в качестве оптического стандарта частоты, открывает интересные возможности по постановке новых экспериментов в оптическом диапазоне.

Возможны, например, эксперименты по получению сверхузких линий, используя метод разнесенных полей Рэмси [4], или по реализации лазера с двумя последовательными резонаторами для изучения особенностей излучения молекул в смешанном энергетическом состоянии по аналогии с известными экспериментами в радиодиапазоне [5].

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Г.А.Елкину за любезное предоставление вакуумного оборудования и ценные советы, Н.Н.Гольяшскому и И.М.Карасеву за помощь в подготовке и проведении эксперимента.

Институт физико-технических
и радиотехнических измерений

Поступила в редакцию
5 апреля 1971 г.

Литература

- [1] И.Г.Басов, В.С.Летохов. УФН, **96**, 585, 1968.
 - [2] J.L.Hall. IEEE J.Quant. Electr., QE - **4**, 638, 1968.
 - [3] Н.Б.Коселевский, А.Ф.Мухамедгалиева, В.М.Татаренков, А.Н.Титов. Измерительная техника, №8, **38**, 1970.
 - [4] Н.Рамзей. Молекулярные пучки, М., ИИЛ, 1960.
 - [5] И.Г.Басов, А.Н.Ораевский, Г.М.Страховский, В.М.Татаренков. ЖЭТФ, **45**, 1768, 1963.
-