

выполнен эксперимент [3]. Согласие между экспериментом и теорией получилось хорошее. Действительно, если второй импульс взять 90-градусным, то амплитуда дополнительного эха при $t=1,7\tau$ (переход $7/2 \rightarrow 9/2$) очень мала, тогда как сигнал эхо при $t=2,7\tau$ легко наблюдается. Знание аналитического вида амплитуд и положений двухчастотных эхо позволяет легко отыскивать оптимальные условия их наблюдения в различных подходящих кристаллических соединениях.

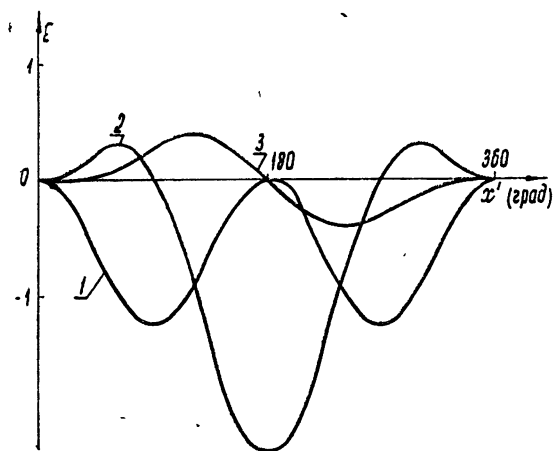


Рис. 1. Зависимость относительных амплитуд двухчастотного квадрупольного спинового эхо от длительности второго импульса при максимуме индукции после первого импульса (случай $J=9/2$, $\eta=0,58$). Переход $7/2 \rightarrow 9/2$ при одновременном возбуждении перехода $5/2 \rightarrow 7/2$ $x' = 2,814 \gamma H_1 t'_w$; 1 — $t = 2\tau$, 2 — $t = 1,7\tau$, 3 — $t = 2,7\tau$.

Метод двухчастотного эхо представляет также интерес в связи с тем, что он открывает возможность изучения необратимых процессов в многоуровневых системах. В работе [1] показано, что при двухчастотном воздействии в случае $\gamma=0,1$ ($\gamma = \omega_2/\omega_1$, ω_1 и ω_2 — релаксационные вероятности) процесс приближения к равновесию в подсистемах спинов носит немонотонный характер

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Гречишкин, А. Д. Гордеев, Н. Е. Айнбиндер, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 9, № 3, 507 (1966).
2. Н. Е. Айнбиндер, В. С. Гречишкин, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 10, № 2, 186 (1967).
3. В. С. Гречишкин, Н. Е. Айнбиндер, Письма в ЖЭТФ, 5, 87 (1967).

Пермский государственный университет

Поступила в редакцию
7 декабря 1966 г.

УДК 621.378.33

ОТПАЯННЫЙ СУБМИЛЛИМЕТРОВЫЙ ЛАЗЕР НА $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2$

А. Ф. Крупнов, В. А. Скворцов, Л. А. Синегубко

В освоении субмиллиметрового диапазона длин волн важную роль играют недавно разработанные квантовые генераторы этого диапазона на молекулярных газах [1,2]. Существующие в настоящее время субмиллиметровые лазеры представляют собой проточные системы, в которых осуществляется постоянная смена рабочего вещества, что усложняет установку и затрудняет работу с ней. Преимущества отпаянных систем, широко применяющихся в видимой и инфракрасной областях спектра, общезвестны. Однако попытки запуска субмиллиметровых лазеров в отпаянном режиме пока не увенчались успехом.

В работе [3] отмечается, что при прекращении прокачки рабочего вещества лазер на парах воды ($\lambda \approx 119$ микрон) генерировал лишь в течение нескольких минут; затем генерация пропадала и не возобновлялась даже при длительном «отдыхе» отработанного вещества без разряда. Авторы [3] высказали предположение, что это происходит

из-за диссоциации воды в разряде, причем обратный процесс по каким-либо причинам сильно затруднен. Нами было сделано предположение, что в отпаянном лазере нарушается соотношение количества водорода и кислорода, необходимое для лазерного действия, что и приводит к прекращению работы лазера. Например, водород, образующийся в разряде, может поглощаться стенками вакуумного объема [3]. Отметим, что до сих пор неизвестна ответственная за лазерное действие группа атомов или молекул. Далее, если для лазерного действия существенно лишь наличие определенных количеств водорода и кислорода, то, может быть, соотношение их в воде не является оптимальным для работы лазера. Для проверки этих предположений были проведены некоторые эксперименты на установке субмиллиметрового лазера, описание которой дается ниже.

Лазер имел конструкцию обычного типа (см., например, [2]) Труба лазера была длиной два метра и диаметром 7,5 см. Размещенные по концам трубы зеркала, стеклянные, сферические, с радиусом кривизны 2,5 м, покрыты напыленными под вакуумом слоями алюминия и, поверх него, серебра. Алюминиевая подложка повышает стойкость зеркал в разряде, а слой серебра имеет больший, нежели у алюминия, коэффициент отражения в субмиллиметровом диапазоне. Разряд происходил между одним анодом в центре трубы и двумя охлаждаемыми водой полыми катодами у концов. Рабочие режимы разряда соответствовали напряжениям порядка 1—1,5 кВ, токам 200—600 мА в каждом плече. Труба при работе охлаждалась обдувом. Вывод излучения лазера осуществлялся через отверстие диаметром 2 мм в центре одного из зеркал. Так как установка предназначалась, как обычно, для работы в проточном режиме, она имела вакуумные уплотнения из резины и окно для вывода излучения, вакуумированное тонкой лавсановой пленкой, что приводило при прекращении откачки к довольно быстрому уходушению вакуума в системе (натекание в систему в статическом режиме составляло $3 \div 8 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. в час).

На этой установке была получена непрерывная генерация в проточном режиме на парах воды на известных ранее длинах волн 28 и 119 микрон. Прием излучения производился оптико-акустическим приемником Голея с окнами из КВг (для $\lambda = 28$ микрон) и кристаллического кварца (для $\lambda = 119$ микрон). Определение длины волны 28 микрон производилось с помощью эшелетта. На длине волны 119 микрон лазер генерировал лишь при соответствующей настройке резонатора, образованного зеркалами. При изменении длины резонатора лазера перемещением одного из зеркал максимумы излучения лазера появляются через $\lambda/2$, что и используется для измерения излучаемой лазером длины волны.

После этого нами был запущен лазер в проточном режиме на смеси газообразных водорода и кислорода; при этом была получена генерация на тех же длинах волн и примерно той же мощности, что и на парах воды. Отдельно на водороде или кислороде лазер не работал. Далее нами были проведены опыты по добавлению в разряд на парах воды во время генерации лазера отдельно кислорода и водорода. Добавление 0,2 мм рт. ст. кислорода приводило к уменьшению мощности генерации в несколько раз как на 28, так и на 119 микрон. Добавление такого же количества водорода увеличивало мощность генерации примерно вдвое также на обеих длинах волн (см. примечание при корректуре).

Эти результаты, подтвердившие наши предположения, позволили перейти к исследованию возможности работы лазера в отпаянном режиме. Для этого вначале были повторены опыты [2]. В согласии с [2], генерация лазера на парах воды в отпаянном режиме пропадала через 3—4 минуты и не восстанавливалась вновь. Однако добавление к этому обработанному веществу водорода восстанавливало генерацию. Этот результат также подтвердил наши предположения. После этого нами был запущен лазер, наполненный смесью $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2$ примерно в равных количествах (по 0,2 мм рт. ст.), который в отпаянном режиме проработал более четырех часов на длинах волн 28 и 119 микрон. Было установлено, что лазер допускает выключение из разряда и повторные запуски. В конце работы в отпаянном режиме цвет разряда напоминал цвет разряда в воздухе, и мощность генерации сильно уменьшилась. Контрольный опыт по добавлению в работающий лазер атмосферного воздуха в количествах порядка долей миллиметра ртутного столба показал тушение генерации лазера воздухом. Этот факт согласуется с ограничением срока работы нашей установки в отпаянном режиме, которое, по-видимому, было обусловлено натеканием воздуха в вакуумный объем. Дальнейшее увеличение срока непрерывной работы отпаянного субмиллиметрового лазера на $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2$, по-видимому, возможно при условии обработки соответствующей вакуумной системы, предотвращающей как натекание посторонних газов, так и потерю рабочего вещества. Отметим, что в случае необходимости добавление водорода в разряд может осуществляться, например, испарением его с соответствующего адсорбера.

Авторы благодарят Н. И. Фурашова за предоставление приемной аппаратуры и Б. В. Громова за помощь в эксперименте.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Crocker, H. A. Gebbie, M. F. Kimmit, L. E. S. Mathias, *Nature*, **201**, 250 (1964).
2. G. T. Flesher, W. M. Müller, *Proc. IEEE*, **54**, № 4, 543 (1966).
3. С Д э ш м а н, Научные основы вакуумной техники, Мир, М., 1964.

Научно-исследовательский радиофизический институт
при Горьковском университете

Поступила в редакцию
10 января 1968 г.

Примечание при корректуре. Исследования лазера на D_2O ($\lambda \sim 172 \mu$) показали аналогичное поведение лазеров на H_2O и D_2O по отношению к химическим добавкам соответствующего изотопного состава, что может свидетельствовать о химическом характере процессов возбуждения в этих лазерах

УДК 621.371.31.533.9.01

О РЕЗОНАНСАХ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ*

В. Б. Гильденбург, Г. А. Марков

Продольные волны, возбуждаемые в плазменных объектах с сильно размытыми (в масштабе дебаевского радиуса) границами, в силу большого затухания Ландау на периферии плазмы, должны удовлетворять своего рода условию излучения, которое делает невозможным возникновение продольно-волновых резонансов в объектах с плавным и монотонным спадением концентрации от центра к периферии. Как было показано в [1], для сферически и цилиндрически симметричных структур эти резонансы отсутствуют даже в том случае, когда просачивание продольных волн в область сильного затухания затруднено наличием скачков производной концентрации.

Более сложным представляется вопрос о возможности постановки аналогичного условия излучения при наличии постоянного магнитного поля, перпендикулярного к направлению распространения возбуждаемой в плазме продольной волны. Поскольку «черенковские» потери в случае чисто поперечного распространения отсутствуют, а циклотронное поглощение в однородном поле происходит лишь в малой окрестности гармоник гирочастоты ($\omega = n\omega_H$, $n=1,2,3 \dots$), основания для наложения на продольные волны условия излучения при промежуточных частотах $\omega \neq n\omega_H$ в бесстолкновительной плазме (пусть даже с сильно размытой границей), казалось бы, исчезают.

Для выяснения этого вопроса, т. е. по существу, вопроса о спектре поглощения продольных волн, распространяющихся в неоднородной плазме поперек магнитного поля, было проведено экспериментальное исследование резонансного рассеяния электромагнитных волн положительным столбом газового разряда, помещенным в продольное магнитное поле, с помощью которого осуществлялось управление как гиротропными свойствами плазмы, так и ее радиальным распределением в разрядной трубке. В экспериментах использовались трубки различного диаметра ($d=6 \div 16$ мм), заполнявшиеся аргоном в режиме непрерывной откачки при давлениях $P \sim 10^{-3}$ мм рт. ст. Анод каждой из них представлял собой набор плоских концентрических колец с независимыми выводами, что давало возможность производить измерение радиального распределения электронной концентрации. Облучение плазменного столба и прием отраженного от него сигнала осуществлялись с помощью рупорных антенн на длине волны 6,3 см при поперечной ориентации волнового вектора и электрического поля волны по отношению к оси трубки. Неоднородность постоянного магнитного поля вдоль облучаемой части разряда не превышала 10%. Его напряженность H_0 можно было изменять от 125 до 600 э, что соответствовало переходу от 15 до 3 гармоники гирочастоты nH .

Резонансные кривые снимались путем осциллографирования зависимости интенсивности отраженного плазмой сигнала от разрядного тока, пульсировавшего от нуля до 7 а с частотой 50 гц. Соответствующие осциллограммы, снятые для трубок с диаметром 8 и 12 мм при $P=5 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. и различных значениях H_0 , приведены на рис. 1 и 2. На рис. 3 представлены графики распределения плотности тока по

* Доклад на Всесоюзной конференции по физике низкотемпературной плазмы, Киев, 1966.