

В. К. КЛИНКОВ

ГЕНЕРАЦИЯ РУБИНОВОГО ЛАЗЕРА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

(Представлено академиком И. В. Обреимовым 2 IX 1970)

Влияние магнитного поля на спектральный состав и кинетику излучения рубинового лазера фактически не изучено, вероятно, из-за экспериментальных трудностей, поскольку необходимо сочетать глубокое охлаждение лазерного кристалла, высокое магнитное поле и эффективную световую накачку. Описываемая экспериментальная установка удовлетворяет этим требованиям.

Экспериментальная установка. Принципиальная схема установки показана на рис. 1. Кристалл рубина 10 может свободно перемещаться внутри калиброванной стеклянной трубки 11, которая является направляющей. Концы трубки при помощи сильфонов 2 соединены с метал-

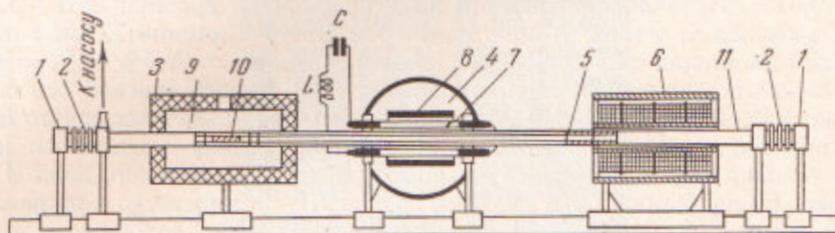


Рис. 1. Схема установки для изучения генерации в магнитном поле

лическими оправами 1, в которых крепятся стеклянные окна диаметром 30 мм. При работе с внешними зеркалами стеклянные окна могут быть заменены диэлектрическими зеркалами, для юстировки которых в оправах имеются установочные винты. Пространство внутри трубки откачивается до 2—5 мм рт. ст. На трубку надеты пенопластовый дьюар 3 (в который заливается жидкий азот 9) и тяговый электромагнит 6. Длинной тягой (стеклянная трубка) кристалл соединен с металлической втулкой 5, которая находится в зоне действия тягового электромагнита. Магнит 6 имеет 4 обмотки. Если поочередно переключать питание от первой обмотки до четвертой и обратно, то втулка будет совершать возвратно-поступательное движение вдоль магнита 6. При этом кристалл рубина будет перемещаться из дьюара в осветитель 8 и обратно. Осветитель 8 находится между полюсов электромагнита 4 и состоит из двух ламп ИФП-2000 с плотной упаковкой (рис. 2). В момент вспышки на лампы действуют подемоторные силы F_1 и F_2 , перпендикулярные ее оси, что иногда приводит к механическому разрушению ламп. Так, при прохождении через лампу тока $2 \cdot 10^3$ а и $H=12$ кэ Г достигает 60 кГ. Если в поле поместить две лампы с противоположным направлением тока в них, то результирующая подемоторная сила будет минимальна, и разрушение ламп в данном поле не наступает.

Было изучено нагревание рубина за время прохождения его из дьюара с жидким азотом в осветитель. Для этого медь-константановой термопарой с записью на ЭПП-09 измерялась температура рубина в следующих режимах: 1. $t=0$, рубин в осветителе ($T=293^\circ$ К); $t>0$, рубин быстро перемещается в дьюар с $T=77^\circ$ К; 2. $t=0$, рубин в дьюаре ($T=77^\circ$ К), $t>0$, рубин быстро перемещается в осветитель.

Оказалось, что время охлаждения рубина от комнатной температуры до 77°K равно времени его нагрева от 77 до 293°K и составляет 30 мин.

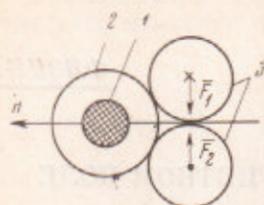


Рис. 2. Расположение осветительных ламп в магнитном поле. 1 — рубин, 2 — стеклянная трубка, 3 — осветительные лампы, F_1 , F_2 — подъемные силы, точка и крест указывают направление тока в лампах

В начальный момент времени при вытаскивании рубина из дьюара с $T = 77^\circ\text{K}$ имеется резкий подъем его температуры за счет теплообмена с окружающей средой на 46° за $t = 15$ сек. Это определяет время переноса рубина из дьюара с $T = 77^\circ\text{K}$ в осветитель. В нашем случае это время равняется 0,1 сек., что соответствует нагреву рубина на $0,3^\circ$.

О нагреве рубина во время генерации можно судить по температурному смещению частоты генерации. При длительности генерации ~ 1 мсек. это смещение составляло $\sim 0,18 \text{ см}^{-1}$ при световых накачках, в 1,5 раза превышающих порог. Это соответствует изменению температуры решетки рубина в процессе генерации на $\Delta T = 17$ град·см· $0,18 \text{ см}^{-1} = 3,1^\circ$ (1).

Для изучения генерации в магнитном поле использовался электромагнит постоянного тока с диаметром полюсных наконечников 200 мм. При зазоре между полюсами 45 мм неоднородность магнитного поля в области кристалла рубина была не хуже 0,01%. Величина магнитного поля изменялась в пределах 0 — 12 кэ. Искользовался кристалл рубина диаметром 10 мм и длиной 72 мм с напыленными на торцах диэлектрическими зеркалами $R_1 = 99,5\%$ и $R_2 = 96\%$. Оптическая ось кристалла перпендикулярна его геометрической оси с точностью $\pm 1^\circ$. Спектры генерации исследовались при различных ориентациях θ оптической оси C_2 рубина относительно направления магнитного поля.

Установка кристалла относительно направления магнитного поля H проводилась по погасанию луча газового лазера ЛГ-55, плоскость поляризации которого предварительно была определена. Излучение рубинового лазера направлялось в систему, позволяющую регистрировать временной ход спектра излучения. Оптическая схема регистрирующей части обычная (см., например, (2)).

Луч лазера, прошедший через интерферометр Фабри — Перо и входной объектив фоторегистратора СФР, создает в фокальной плоскости последнего ($F = 110$ мм) систему интерференционных колец. В этой же плоскости расположена щель, вырезающая из кольцевой картины по диаметру узкую полосу (шириной 0,1 мм), которая вторым объективом СФР ($F = 75$ мм) и вращающимся зеркалом проецируется на пленку.

В магнитном поле наблюдается генерация на зеемановских компонентах рубина*. Интерферометр Фабри — Перо не дает абсолютных длин волн, поэтому частоты зеемановских компонент определялись по смещению относительно реперной линии, которой служила частота генерации коротковолновой компоненты в отсутствие магнитного поля. Каждый раз при съемках спектра в магнитном поле делались контрольные снимки при $H = 0$. За время между двумя вспышками изменения толщины зазора интерферометра не наблюдались.

Результаты эксперимента. Рассмотрим ряд случаев.

Случай а) $C_2 \perp H$ ($\theta = 90^\circ$). В этом случае в спектре генерации наблюдаются от двух (при $H = 0$) до четырех (при $H > 4,8$ кэ) компонент. В полях ($H = 1-2,8$ кэ) наблюдаются три компоненты. На рис. 3а приведена часть временной развертки спектра излучения рубина в поле $\sim 10,5$ кэ. Спектр излучения состоит из четырех компонент различной интенсивности. Замечено также, что при малых световых накачках ($< 1,3$

* Расщепление линий генерации рубина под влиянием импульсного магнитного поля было получено также в (3).

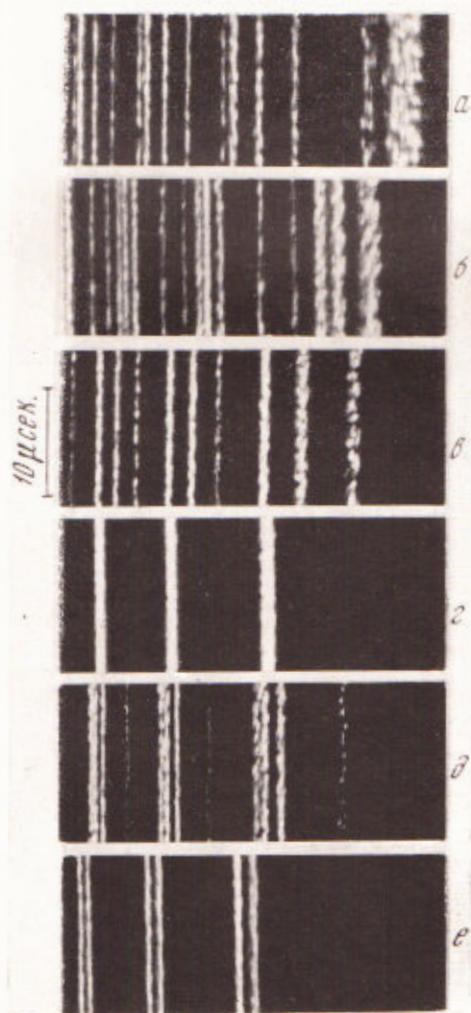


Рис. 3. Временная развертка спектра излучения рубина при 77° К при напряжении магнитного поля: *а* — $H = 10,4$ кэ, *б* — 10,8 кэ, *в* — 10,4 кэ, *г* — 4,3 кэ, *д* — 10,8 кэ, *е* — $H = 0$. Область дисперсии интерферометра Фабри — Перо $\Delta\nu = 2,5$ см⁻¹. Световая накачка в 1,4 раза превышает пороговую. Вертикальной линией справа показан центр системы колец.

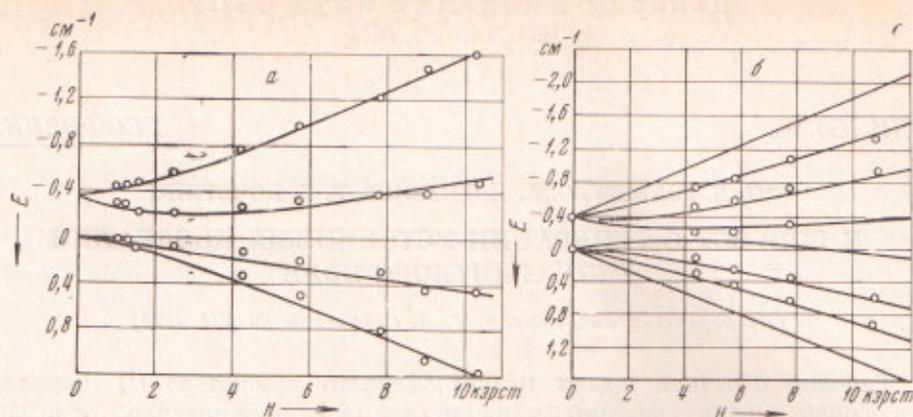


Рис. 4. Частота генерации рубинового лазера в магнитном поле. $E = E_z - E_0$, E_0 — энергия коротковолновой компоненты при $H = 0$. Точками показаны экспериментальные частоты генерации, кривыми — зеемановские расщепления по люминесценции рубина (линия R_1^+)

над порогом) слабые компоненты могут не выходить в генерацию. Отметим, что при равных интенсивностях световых накачек средняя частота следования пиков генерации в магнитном поле меньше. Кроме того, средняя частота следования пиков увеличивается при возрастании интенсивности зеемановской компоненты, на которой происходит генерация.

Проведенные автором измерения по эффекту Зеемана в рубине⁽²⁾ позволили уверенно отождествить частоты генерации с контуром линии люминесценции (рис. 4а). Частоты генерации с точностью $0,05 \text{ см}^{-1}$ (расстояние между модами $0,04 \text{ см}^{-1}$) совпадают с данными по люминесценции.

Случай б) $\theta = 60^\circ$. В этом случае в генерации наблюдаются пять разных по интенсивности компонент (рис. 3б). Увеличение накачки до 1,8 над порогом не приводило к увеличению числа генерирующих компонент. Сравнение с данными по люминесценции показывает, что частоты генерации соответствуют положению максимумов наиболее интенсивных зеемановских компонент (рис. 4б).

Случай в) $\theta = 30^\circ$. В этом случае в спектре генерации проявляются три из пяти возможных зеемановских компонент (рис. 3в).

Случай г) $C_3 \parallel H$ ($\theta = 0^\circ$). Спектр генерации изменяется с изменением величины магнитного поля. В поле 1,5 кэ в генерации наблюдается триплет, который при увеличении поля до 2,8 кэ переходит в дублет. В полях 4,3—5,8 кэ в генерации наблюдается только одна линия (рис. 3г). Дальнейшее увеличение магнитного поля приводит к расщеплению этой линии на три компоненты. Одновременно с этим в генерацию выходит и четвертая возможная компонента (рис. 3д). Интенсивность этой компоненты мала по сравнению с остальными и при уменьшении накачки до 1,3 над порогом она пропадает.

На рис. 3 приведены лишь части временной развертки спектров генерации. Следует отметить, что во всех случаях спектральный состав излучения сохраняется в процессе всей генерации.

Автор выражает благодарность академику И. В. Обремову за руководство работой и В. Н. Цикунову за советы и обсуждение результатов.

Институт общей и неорганической химии
им. Н. С. Курнакова
Академии наук СССР
Москва

Получено
2 IX 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. К. Конюхов, Л. А. Кулевский, А. М. Прохоров, ЖЭТФ, 45, 857 (1963). ² В. В. Коробкин, А. М. Леонтович, ЖЭТФ, 44, 1847 (1965). ³ А. М. Кубарев, В. И. Пискарев, ЖЭТФ, 46, в. 2 (1964). ⁴ В. К. Клишков, Оптика и спектроскопия, 30, в. 2 (1971).