

ВОЗБУЖДЕНИЕ ВКР В АЗОТЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕЗОНАТОРА

Ф. А. Королев, Л. С. Гуляева и Е. Ю. Соколова

Изучены пороговые характеристики 1-й стоксовой компоненты ВКР в N_2 при возбуждении в резонаторе со сферическими зеркалами. Определена пороговая интенсивность возбуждающего излучения и получено значение коэффициента усиления 1-й стоксовой компоненты. Исследована задержка и форма импульса 1-й стоксовой компоненты.

Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) в N_2 при возбуждении без резонатора исследовалось в работах [1-4]. В настоящей работе изучено ВКР в N_2 с применением резонатора, близкого к концентрическому. Ранее было показано, что пороговые характеристики ВКР в метане при возбуждении в резонаторе с малой добротностью хорошо согласуются с теоретическим расчетом, проведенным на основе уравнений переноса с использованием стационарного значения коэффициента усиления [5]. Цель настоящей работы состояла в исследовании пороговых характеристик ВКР в N_2 при возбуждении в высокодобротном резонаторе. Результаты эксперимента сопоставляются с теоретическим расчетом, выполненным в [5].

Экспериментальная часть

Экспериментальная установка в основном была аналогична применявшейся в [5]. Возбуждение ВКР осуществлялось рубиновым лазером с модулированной добротностью, работавшим в режиме многих поперечных мод. Как и в [5], в качестве одного из зеркал резонатора ВКР использовалась поверхность линзы, фокусирующей возбуждающее излучение внутрь кюветы с газом. Однако теперь эта поверхность имела диэлектрическое покрытие с коэффициентом отражения $R=98\%$ на длине волны 1-й стоксовой компоненты 8285 \AA , что обеспечивало высокую добротность резонатора ВКР. Коэффициент пропускания этого зеркала на длине волны лазера составлял 80% . Второе зеркало имело коэффициент отражения $R=93\%$ при $\lambda 8285 \text{ \AA}$ и $R=96\%$ при $\lambda 6943 \text{ \AA}$. Длина резонатора ВКР составляла 33 см , а расстояние между центрами кривизны его зеркал было взято равным 3 мм . Вместо светофильтра СЗС-16 между рубиновым лазером и резонатором ВКР устанавливался нейтральный светофильтр с пропусканием 50% . Его назначение состояло в уменьшении интенсивности компонент обратного вынужденного рассеяния Мандельштама—Бриллюэна (ВРМБ), усиливающихся в рубиновом стержне.

Длительность лазерного импульса на половине высоты равнялась 28 нсек. , а его спектральная ширина была не более 0.01 см^{-1} , что соответствовало возбуждению одной продольной моды в резонаторе лазера. При мощности, соответствующей порогу возбуждения ВКР, диаметр пучка лазерного излучения в центре резонатора составлял $0.3-0.5 \text{ мм}$ (на уровне половины интенсивности). Он значительно превышал диаметр основной моды 1-й стоксовой компоненты $2w_0=0.128 \text{ мм}$.

Работа проводилась при давлении азота 100 атм. При суммарной мощности потоков возбуждающего излучения в резонаторе ВКР около 3 Мвт происходило возбуждение 1-й стоксовой компоненты, соответствующей молекулярному колебанию 2330 см^{-1} . При дальнейшем увеличении мощности возбуждающего излучения фиксировалось возбуждение 1-й и 2-й антистоксовых компонент. При использовавшихся мощностях диэлектрического пробоя в газе не возникало.

Исследование спектрального состава возбуждающего излучения с помощью эталона Фабри—Перо показало присутствие компонент обратного ВРМБ. При мощности, соответствующей порогу ВКР, наблюдались 3 стоксовы компоненты обратного ВРМБ. Интенсивность наиболее сильной (1-й стоксовой компоненты) была значительно меньше, чем интенсивность лазерной компоненты. Чтобы выяснить, как происходит возбуждение ВРМБ, было проведено исследование спектрального состава лазерного излучения также в следующих двух случаях: когда резонатор ВКР был разъюстирован небольшим наклоном фокусирующей линзы и когда «развязка» между лазером и резонатором ВКР увеличивалась за счет установки более плотного нейтрального светофильтра с пропусканием 20%. Было установлено, что в возникновении ВРМБ играет роль как резонатор ВКР, так и «длинный» резонатор, образованный глухим зеркалом рубинового лазера и выходным зеркалом резонатора ВКР. Учитывая относительно малую мощность компонент обратного ВРМБ, можно считать, что обусловленное ими усложнение спектральной структуры возбуждающего излучения не могло существенно повлиять на пороговые характеристики ВКР в резонаторе.

Порог 1-й стоксовой компоненты ВКР регистрировался по почернению на фотопластинке «Инфра-840». Чувствительность фотопластинки в соответствующей спектральной области определялась с помощью эталонной ленточной лампы. Энергия импульса возбуждающего излучения измерялась калиброванным термоэлементом. Было исследовано поперечное распределение интенсивности возбуждающего излучения. С этой целью производилось фотографирование и фотометрическая обработка «пятен» лазерного излучения в центре резонатора ВКР (в месте фокусировки) и на его зеркалах. Считалось, что относительное распределение интенсивности не меняется в течение импульса. Было найдено, что ширина распределения интенсивности в центре резонатора ВКР увеличивается с ростом энергии импульса. В то же время ширина распределения на зеркалах значительно слабее зависит от энергии импульса. Распределение интенсивности возбуждающего излучения, соответствующее порогу ВКР, было использовано при определении коэффициента усиления для 1-й стоксовой компоненты.

Фотографии «пятен» ВКР в центре резонатора показывают, что вблизи порога происходило возбуждение только основной моды ВКР.

Исследование временных характеристик излучения производилось с помощью фотоэлементов ФЭК-09 и осциллографа И2-7.

Определение коэффициента усиления 1-й стоксовой компоненты

Коэффициент усиления определялся на основании формулы для спектральной плотности мощности стоксова излучения, полученной в [5]. При расчете принималась гауссовская форма возбуждающего импульса, что с достаточной точностью соответствует экспериментальным данным.

Мощность излучения 1-й стоксовой компоненты на выходе из резонатора, соответствующая принятому экспериментальному порогу регистрации, определялась с учетом чувствительности фотопластинки и длительности импульса ВКР (см. ниже). Она оказалась равной 0.1 квт (в максимуме стоксова импульса). Для нахождения спектральной плотности использовалась ширина линии ВКР $\delta\nu = 0.27 \text{ см}^{-1}$, полученная путем

расчета [5] с использованием ширины линии спонтанного комбинационного рассеяния (СКР) $\Delta\nu=2 \text{ см}^{-1}$ [7, 8].

На основании измерений пороговой мощности лазера и распределения интенсивности в возбуждающем пучке было определено пороговое значение отношения G_1/b , где G_1 — коэффициент усиления для стоксова излучения на один проход, b — коэффициент усиления в расчете на единичную интенсивность возбуждающего излучения. После усреднения по большому количеству измерений для этой величины в максимуме возбуждающего импульса было получено значение

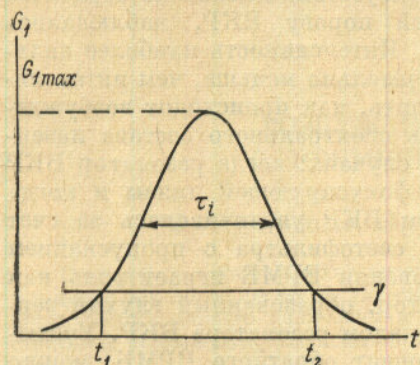


Рис. 1. К расчету коэффициента усиления.

$\tau_L=28$ нсек., $G_{\text{max}}=1.6$, $\gamma=0.33$, $t_2-t_1=42.3$ нсек.

$G_{1\text{max}}/b=7.0 \cdot 10^3$ Мвт/см. Коэффициент потерь на проход в резонаторе ВКР с учетом отражения излучения на непрозрачных окнах кюветы составлял $\gamma=0.33$. Исходя из этих данных, была рассчитана спектральная плотность мощности излучения 1-й стоксовой компоненты на выходе из резонатора в зависимости от величины коэффициента усиления b . Сопоставление результатов расчета с соответствующим экспериментальным значением дало для коэффициента усиления стоксова излучения в N_2 величину $b=2.3 \cdot 10^{-4}$ Мвт $^{-1}$ ·см (давление 100 атм., температура 20° С). При этом пороговое усиление на один проход в максимуме лазерного импульса $G_{1\text{max}}=1.6$, а интервал времени,

в течение которого усиление превышает потери, $t_2-t_1=42.3$ нсек. Соотношение между усилением и потерями в резонаторе ВКР иллюстрируется на рис. 1. Основная ошибка в приведенном значении коэффициента усиления обусловлена неточностью измерения энергии возбуждающего импульса, которая может составлять 20%.

Сравним полученный коэффициент усиления со значением, которое может быть вычислено при использовании данных по СКР. В работе [6] приводится значение квадрата матричного элемента для рассматриваемого перехода $\langle 0|\alpha|1\rangle^2=4.0 \cdot 10^{-51}$ см 6 . Взяв упомянутое выше значение для ширины линии СКР $\Delta\nu=2 \text{ см}^{-1}$ [7, 8], найдем $b=0.7 \cdot 10^{-4}$ Мвт $^{-1}$ ·см. Различие коэффициентов усиления, полученных по данным спонтанного и вынужденного рассеяния, намного превосходит экспериментальную ошибку настоящей работы. Можно предположить, что оно в значительной степени обусловлено отсутствием надежных экспериментальных данных о ширине и форме линии СКР, что приводит к большой неточности расчета коэффициента усиления по данным спонтанного рассеяния.

Временные характеристики ВКР

На рис. 2, б, в приведены осциллограммы импульсов 1-й стоксовой компоненты (слева) и возбуждающего излучения (справа), полученных на одной развертке осциллографа. Лазерный импульс задерживался относительно импульса ВКР с помощью длинного кабеля. Привязка по времени производилась по осциллограммам двух лазерных импульсов, снятых при той же скорости развертки (рис. 2, а).

Осциллограмма на рис. 2, б получена вблизи порога ВКР и соответствует случаю слабого рассеяния, когда не происходит заметного истощения мощности возбуждающего излучения. В этом случае импульс ВКР запаздывает относительно возбуждающего импульса на время 18 нсек., которое удовлетворительно согласуется с расчетным значением $(t_2-t_1)/2=21.2$ нсек. [5]. Импульс ВКР имеет несимметричную форму, а его длительность значительно меньше, чем длительность возбуждающего импульса. Для сравнения на рис. 2, в дана осциллограмма импульса ВКР, когда

мощность возбуждающего излучения превышала пороговую. Крутой передний фронт, большая длительность импульса и уменьшение задержки свидетельствуют о том, что в этом случае имело место сильное рассеяние.

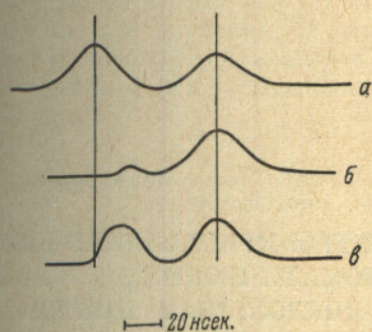


Рис. 2. Осциллограммы импульсов 1-й стоксовой компоненты и возбуждающего излучения.

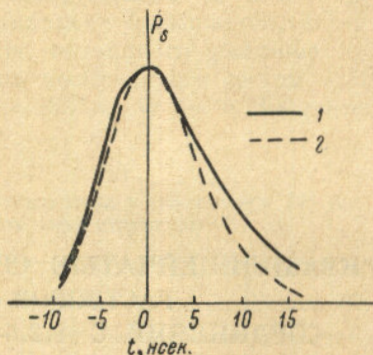


Рис. 3. Экспериментальная и теоретическая форма импульса 1-й стоксовой компоненты при слабом рассеянии.

1 — эксперимент, 2 — теория.

На рис. 3 экспериментальная форма импульса 1-й стоксовой компоненты при слабом рассеянии сравнивается с расчетной, полученной на основании [5] в предположении гауссовской формы возбуждающего импульса. Как видно из рисунка, имеется хорошее согласие между экспериментальной и теоретической кривой. Длительность импульса 1-й стоксовой компоненты на половине высоты составляет 13,5 нсек., что близко к теоретическому значению 12 нсек.

Литература

- [1] S. Dumartin, B. Oskendorn, B. Vodar. *Compt. Rend.*, 259, 4589, 1965.
- [2] T. A. Wiggins, R. V. Wick, D. H. Rank. *Appl. Opt.*, 5, 1069, 1966.
- [3] V. Alekseyev, A. Grasiuk, V. Ragulsky, I. Sobelman, F. Faizulov. *IEEE J. Quant. Electr.*, 4, 654, 1968.
- [4] M. E. Mack, R. L. Carman, J. Reintjes, N. Bloembergen. *Appl. Phys. Lett.*, 16, 209, 1970.
- [5] Ф. А. Королев, В. И. Одинцов, В. Н. Роговой, Е. Ю. Соколова. *Опт. и спектр.*, 30, 776, 1971.
- [6] E. J. Stansbury, M. F. Grawford, H. L. Welsh. *Canad. J. Phys.*, 31, 954, 1953.
- [7] Г. В. Михайлов. *ЖЭТФ*, 36, 1368, 1959.
- [8] Г. В. Михайлов. *Тр. ФИАН*, 27, 150, 1964.

Поступило в Редакцию 11 февраля 1971 г.