

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ФИЗИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ**



*имени*

*П. Н. Лебедева*

**Ф И А Н**

ПРЕПРИНТ

15

**В.С. ГОРЕЛИК, А.Д. КУДРЯВЦЕВА, Н.В. ЧЕРНЕГА  
ВЫНУЖДЕННОЕ ИНФРАКРАСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ  
ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ  
МОЛЕКУЛЯРНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ ГИГАНТСКИМИ  
ИМПУЛЬСАМИ ЛАЗЕРА НА РУБИНЕ**

МОСКВА 2005

УДК 535.371.

#### **Аннотация.**

В работе сообщается о наблюдении вынужденного инфракрасного излучения из конденсированной диэлектрической среды при воздействии на неё гигантского импульса рубинового лазера. Такой эффект был предсказан в теоретической работе [1]. Экспериментальные исследования были выполнены для ряда молекулярных жидкостей при двух геометриях опыта. В первом случае (схема «на просвет») направление распространения регистрируемого инфракрасного излучения совпадало с направлением распространения возбуждающего излучения; во втором случае генерируемое инфракрасное излучение регистрировалось в противоположном направлении. Было установлено, что угол расходимости инфракрасного излучения составляет  $10^{-2}$  рад, а коэффициент преобразования по отношению к интенсивности накачки зависит от типа молекулярной жидкости и изменяется в диапазоне 0,05 - 0,6 %.

Проанализированы возможные микроскопические механизмы генерации инфракрасного излучения при накачке диэлектрической среды излучением видимого или ультрафиолетового диапазона.

## 1. Введение.

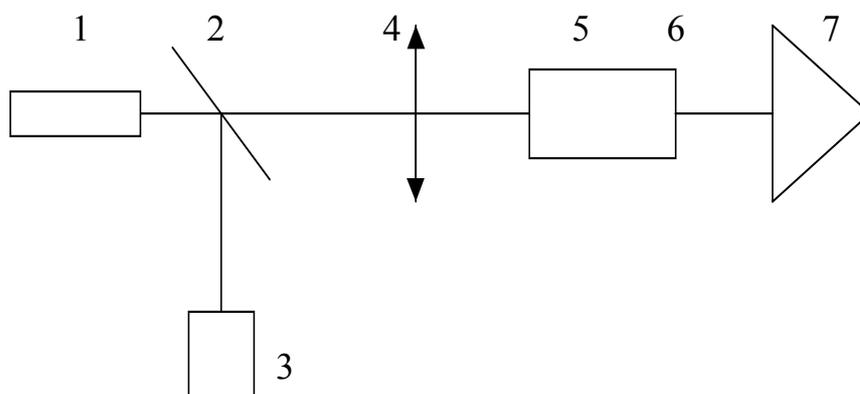
При введении интенсивного возбуждающего излучения в диэлектрическую среду может наблюдаться так называемое вторичное излучение, длина волны которого в общем случае отличается от длины волны возбуждающего излучения. Простейшими примерами вторичного излучения являются процессы фотолюминесценции и комбинационного рассеяния (КР) света. Обычно возбуждающее излучение соответствует видимой или ближней ультрафиолетовой области спектра. В случае КР одновременно с возникновением вторичного излучения с длиной волны, близкой к длине волны возбуждающего излучения, происходит заселение колебательных уровней энергии, соответствующих инфракрасному диапазону спектра. В работе [1] было теоретически показано, что при процессах КР одновременно может происходить вторичное инфракрасное излучение из молекулярной среды. Кроме того, было показано, что в результате создания инверсной заселенности между определёнными колебательно-вращательными уровнями молекул при возбуждении молекулярной среды светом видимого или ультрафиолетового диапазона одновременно с КР может наблюдаться также вынужденное инфракрасное излучение. В этой работе были рассмотрены случаи широкополосной накачки, а также монохроматической накачки молекулярной среды мощным лазерным излучением с интенсивностью, превышающей порог вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР).

В недавних работах [2-4] сообщалось об экспериментальном наблюдении спонтанного инфракрасного излучения при широкополосной накачке спонтанным источником света (ксеноновой лампой). При этом вид спектра ИК – излучения коррелирован с соответствующим спектром инфракрасного поглощения соответствующих сред.

Наконец в работе [5] была рассмотрена возможность возникновения вторичного излучения в инфракрасном диапазоне при импульсно-периодическом лазерном возбуждении материальной среды в результате процесса двухфотонного поглощения с последующим возбуждением чётного электронного состояния молекулярной системы и двухфотонным излучением в широкой области спектра, включающей инфракрасный диапазон. В данной работе была поставлена задача экспериментальной регистрации ИК - излучения при возбуждении конденсированной молекулярной среды гигантскими импульсами лазера на рубине ( $\lambda=694,3$  нм) в процессе ВКР.

## 2. Экспериментальная установка и методика измерений.

В качестве источника возбуждающего излучения нами использовался лазер на рубине, работающий в режиме модуляции добротности (длительность импульса генерации  $\tau = 20$  нс, максимальная энергия в импульсе 0,3 Дж). Схемы экспериментальных установок показаны на рис.1 а, б. На рис. 1а представлена схема для измерения параметров излучения,



распространяющегося попутно с накачкой.

*Рис. 1а.*

*Схема «на просвет» для наблюдения вынужденного инфракрасного излучения; 1 - лазер, 2 – поворотная пластина, 3 - система регистрации параметров лазерного излучения, 4 - фокусирующая система, 5 - кювета с веществом, 6 – выходное окно кюветы, 7 - система регистрации энергетических характеристик излучения.*

Излучение лазера (1) направлялось в кювету с нелинейной средой (5) оптической системой (4). Использовался сфокусированный или коллимированный пучок накачки. Кювета для исследуемых жидкостей использовалась без входного окна, что позволяло избежать потерь на поглощение в материале входного окна и предотвратить оптический пробой. Селективные фильтры использовались для выделения измеряемого

спектрального интервала. В случае малых спектральных смещений ВКР использовался спектрограф типа ИСП-51. Для выделения излучения в ИК диапазоне использовалось выходное окно кюветы из кремния; при измерении энергии ВКР «вперед» использовалось стеклянное выходное окно кюветы. Энергетические характеристики излучения измерялись калиброванными калориметрами (7). Характеристики возбуждающего излучения контролировались с помощью системы (3).

Мы проводили также измерения энергетических характеристик ВКР, распространяющегося навстречу накачке (ВКР «назад»), и вынужденного рассеяния Мандельштама – Бриллюэна (ВРМБ). Энергии ВКР, ВРМБ и ИК излучения для 180-градусной геометрии («назад») измерялись с помощью установки, представленной на рис.1б.

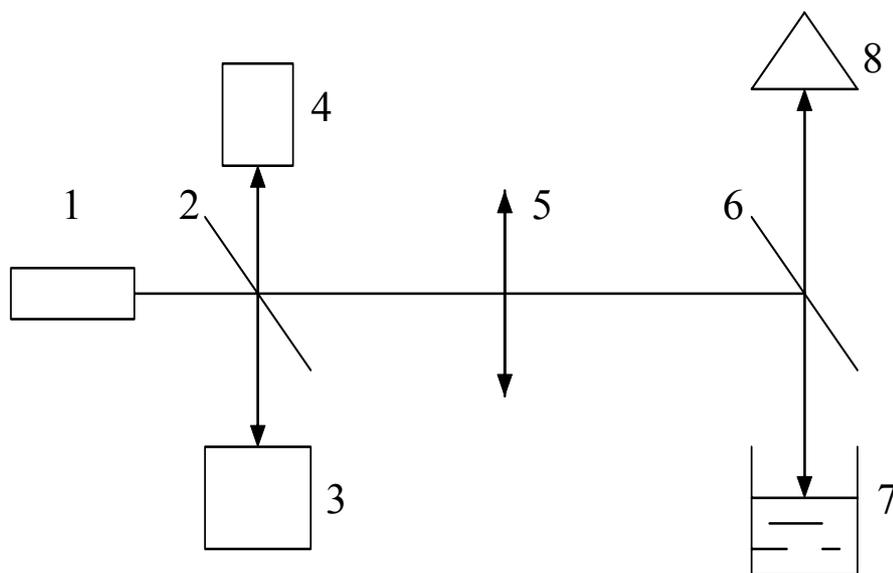


Рис. 1б.

Схема «на отражение» для наблюдения вынужденного инфракрасного излучения; 1 – лазер; 2, 6 – поворотные пластины; 3 – система регистрации параметров возбуждающего излучения; 4 – система регистрации параметров ВКР «назад» и ВРМБ; 5 – оптическая система, фокусирующая излучение накачки в вещество; 7 – кювета с нелинейным веществом; 8 – калиброванный калориметр, измеряющий энергию ИК излучения.

Излучение лазера (1) фокусировалось в кювету с нелинейной средой (7) оптической системой (5). Энергии ВКР «назад» и ВРМБ измерялись с помощью системы (4). Энергия ИК излучения измерялась калиброванным калориметром (8). Для выделения ИК излучения использовалась поворотная пластина (6) из кремния.

Экспериментально подбирались условия, отвечающие получению максимального коэффициента преобразования волны накачки в волну стоксовой компоненты ВКР, соответствующего минимальной длине активной среды, чтобы уменьшить поглощение в ней ИК излучения

### **3. Энергетические характеристики ВКР.**

Для оптимизации режимов наблюдения вынужденного инфракрасного излучения нами исследовались условия для реализации различных нелинейных процессов при их возбуждении гигантским импульсом. В частности, исследовались зависимости энергии 1-ой стоксовой компоненты ВКР для ряда сред (см. таблицу 1) от энергии возбуждающего излучения при различных геометрических условиях освещения активной среды. В качестве активных сред использовались нелинейные жидкости (ацетон, бензол и т.д.), обладающие сильным поглощением в ИК диапазоне.

Использовались линзы с различными фокусными расстояниями (5 - 50 см). Измерения проводились при различных положениях фокальной перетяжки в объеме активной среды и для различных длин используемых сред.

На рис.2а показана типичная зависимость энергии первой стоксовой компоненты ВКР - «назад» от энергии накачки при фокусировке в нелинейную среду на различную глубину линзами с различными фокусными расстояниями. Изменение пространственного распределения излучения накачки в активной среде приводит к существенному изменению хода кривой зависимости энергии ВКР - «назад» от энергии возбуждающего излучения. При уменьшении расстояния между входной границей активной среды и положением фокальной перетяжки уменьшаются энергия ВКР - «назад» и значение энергии возбуждающего излучения, при котором прекращается рост энергии ВКР и начинается насыщение. Максимальная энергия ВКР «назад» достигается при использовании короткофокусной линзы и максимальном заглублении фокальной перетяжки.

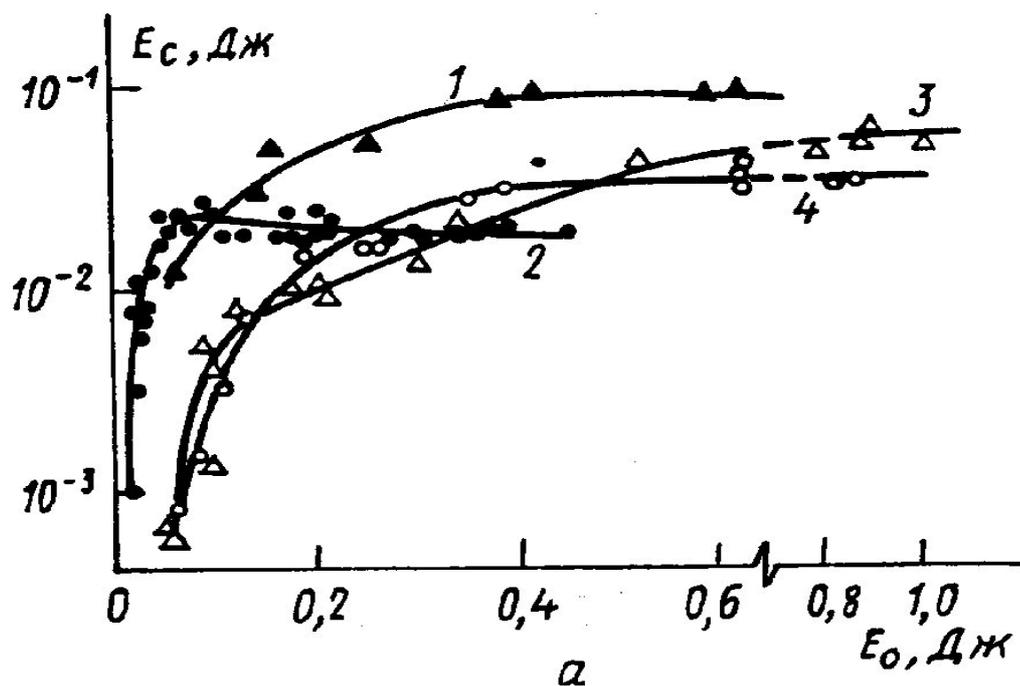


Рис. 2а.

Зависимость энергии первой стоксовой компоненты ВКР «назад»  $E_s$  от энергии излучения лазера  $E_0$  при  $F=5$  см (1, 2) и 10 см (3, 4) для глубины фокусировки 50 (1), 12 (2), 42 (3) и 24 мм (4).

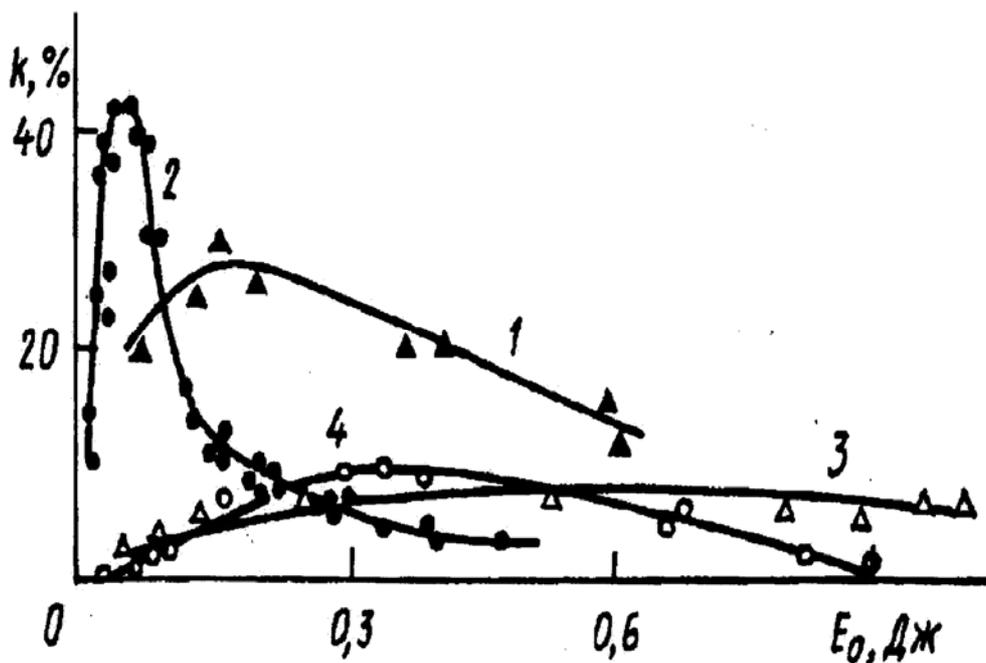


Рис. 2б.

Зависимость коэффициента преобразования энергии в ВКР «назад»  $k$

от энергии излучения лазера  $E_0$  при  $F=5$  см (1, 2) и 10 см (3, 4) для глубины фокусировки 50 (1), 12 (2), 42 (3) и 24 мм (4).

На рис. 2б приведены зависимости коэффициента преобразования  $k$  волны накачки в волну ВКР - «назад» для условий возбуждения, аналогичных показанным на рис.2а. Возрастание энергии лазерного излучения приводит к росту  $k$ , который достигает максимума вблизи насыщения, затем  $k(E_0)$  спадает по гиперболическому закону. Как видно из рис. 2б, максимальное значение коэффициента преобразования достигается при малой глубине фокусировки с использованием короткофокусных линз.

Зависимость энергии 1-ой стоксовой компоненты ВКР «назад» от энергии возбуждающего лазерного импульса для различных жидкостей представлена на рис.3.

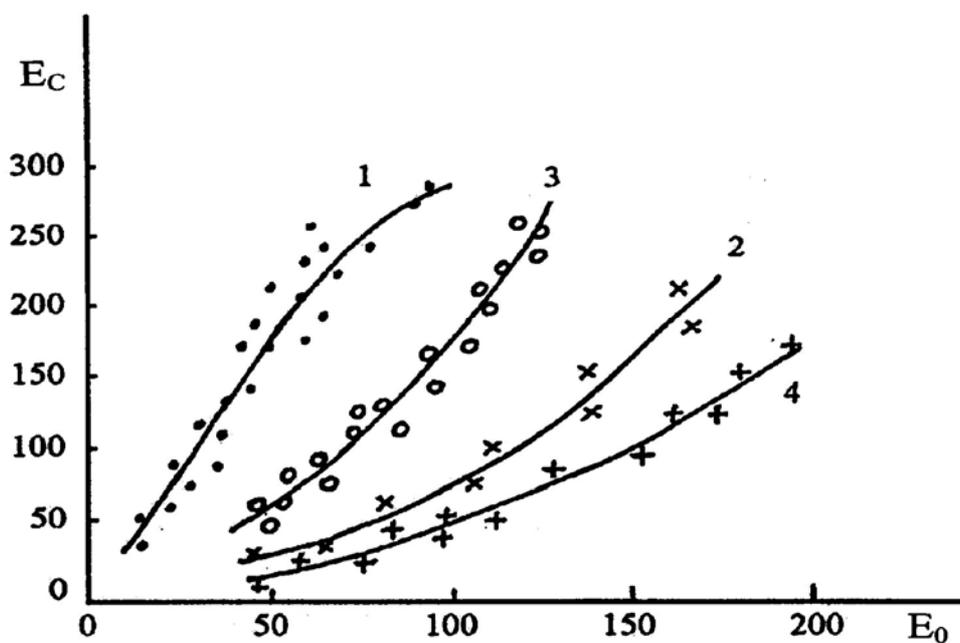


Рис.3.

Зависимость энергии импульсов ВКР «назад» ( $E_c$ ) от энергии лазерного излучения ( $E_0$ ) в относительных единицах;  $\ell = 5$  см,  $F = 10$  см;  
1 – ацетон, 2 – бензол, 3 – вода, 4 – циклогексан.

Излучение лазера фокусировалось вблизи входной границы нелинейной среды. Использовалась линза с фокусным расстоянием  $F=100$  мм. Фокусировка возбуждающего излучения осуществлялась на глубину 10 мм от входного окна кюветы. Эффективность преобразования волны накачки в волну ВКР определялась как коэффициентом усиления, так и наличием в нелинейной

среде конкурирующих нелинейных процессов. При использовании для возбуждения лазерных импульсов наносекундного диапазона длительности такими процессами в исследуемых средах были в первую очередь ВРМБ и нелинейное (двухфотонное) поглощение света, а в случае использования для возбуждения ВКР пикосекундных лазерных импульсов – вынужденное рассеяние крыла линии Рэля. Эффективность данных процессов определяется как нелинейными характеристиками используемых сред, так и геометрическими и энергетическими условиями возбуждения. На рис. 4 представлена зависимость относительной доли энергии прошедшего слоя нелинейной среды лазерного излучения от энергии падающего на среду лазерного излучения.

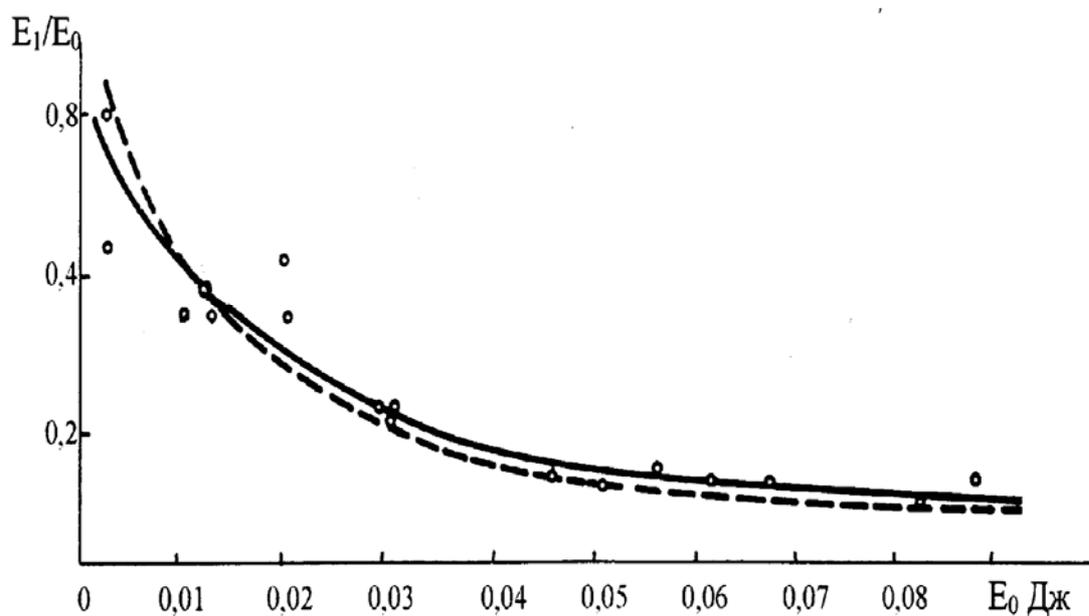


Рис.4.

Экспериментальная (сплошная кривая) и теоретическая (пунктир) зависимости пропускания ацетона  $E_1/E_0$  от энергии падающего излучения  $E_0$  при толщине слоя ацетона 5 мм.

Фокусное расстояние используемой линзы составляло 50 мм, а толщина слоя диэлектрической среды - 5 мм. Фокусировка осуществлялась в центр кюветы с ацетоном. Коэффициент двухфотонного поглощения составлял  $1,77 \cdot 10^{-13}$  м/Вт для используемой длины волны лазерного излучения. В таких условиях эффективность преобразования в ВКР была менее одного процента, а

энергия прошедшего нелинейную среду излучения уменьшалась приблизительно в 10 раз, т.е. двухфотонное поглощение существенно ограничивало эффективность ВКР-преобразования. Изменяя пространственное распределение интенсивности накачки в нелинейной среде, мы могли регулировать вклад различных нелинейных процессов. На рис. 5 показана зависимость энергии импульса ВКР - «назад» от положения фокальной перетяжки в объеме нелинейной среды относительно входного окна кюветы при фиксированной энергии лазерного излучения для воды и ацетона.

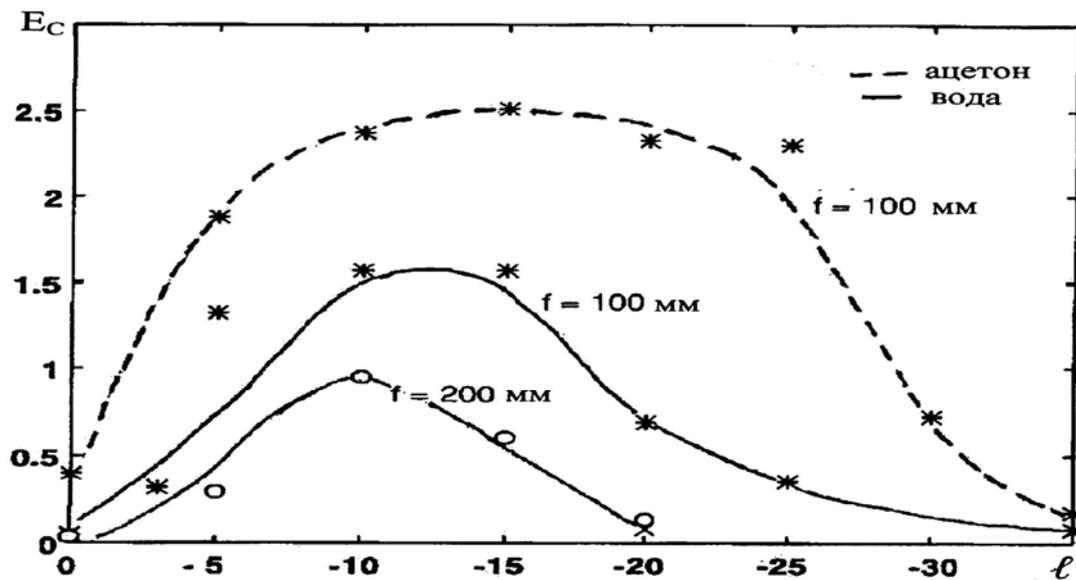


Рис.5.

Зависимость энергии ВКР - «назад»  $E_C$  от расстояния  $l$  фокуса от поверхности воды для мощности излучения лазера  $P_0 = 30$  МВт,  $l$  в мм,  $E_C$  в относительных единицах.

Как видно из приведенных графиков, максимум преобразования волны накачки в волну ВКР имеет место при положении фокальной перетяжки вблизи входной границы среды, на расстоянии порядка длины фокальной перетяжки используемой линзы (в условиях эксперимента  $\sim 5$  мм). При выбранных условиях возбуждения ВКР эта длина активной среды является оптимальной, так как влияние конкурирующих нелинейных процессов ( в первую очередь это ВРМБ и ДФП) не велико. В этих условиях (при возбуждении ВКР -«назад» в слое жидкости в нескольких миллиметрах) отмечались большие флуктуации энергий стоксовых импульсов с дисперсией  $\sim 100\%$ . Этот факт является проявлением статистических свойств затравочных

спонтанных фотонов. На рис.6 показана зависимость мощности первой стоксовой компоненты ВКР - “назад” в воде и ацетоне от мощности исходного лазерного импульса. Рассеяние возбуждалось в среде длиной 5 мм. Использовалась кювета без входного окна. Зависимости были получены для возбуждающих импульсов различной поляризации. Как видно из приведённых графиков, сильные флуктуации наблюдаются во всём динамическом диапазоне возбуждения.

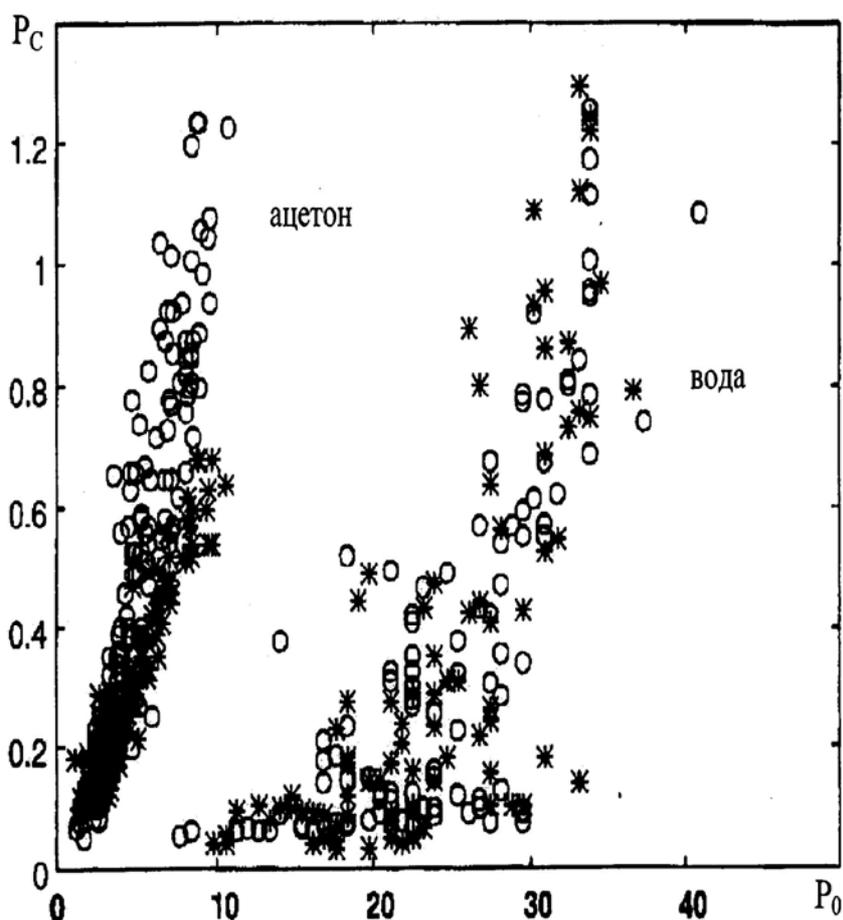


Рис. 6.

Зависимость мощности ВКР - «назад»  $P_C$  от мощности лазерного излучения  $P_0$  при  $F = 10$  см для воды и ацетона;  $o$  – циркулярно поляризованный лазерный пучок,  $*$  - линейно поляризованный лазерный пучок.

#### 4. Параметры генерация ИК – излучения в конденсированной диэлектрической среде при воздействии на неё гигантского импульса рубинового лазера.

Экспериментальная регистрация ИК - излучения в конденсированной диэлектрической среде при воздействии на неё гигантского импульса рубинового лазера была реализована на установке, показанной на рис. 1 (а, б). Излучение лазера фокусировалось в кювету с нелинейной средой. Излучение ИК - диапазона, распространяющееся навстречу накачке, регистрировалось калиброванным калориметром (8) после прохождения через полированную кремниевую пластину (6), которая отфильтровывала излучение ВКР и ВРМБ, распространяющееся в этом же направлении. При измерении энергии ИК - излучения, распространяющегося попутно с накачкой, кремниевая пластинка толщиной 5 мм использовалась в качестве выходного окна кюветы с исследуемой средой. Наиболее подходящими материалами для фильтров, выделяющих ИК - излучение, являются германий и кремний. На рис. 7 представлены спектральные коэффициенты пропускания германиевых и кремниевых фильтров.

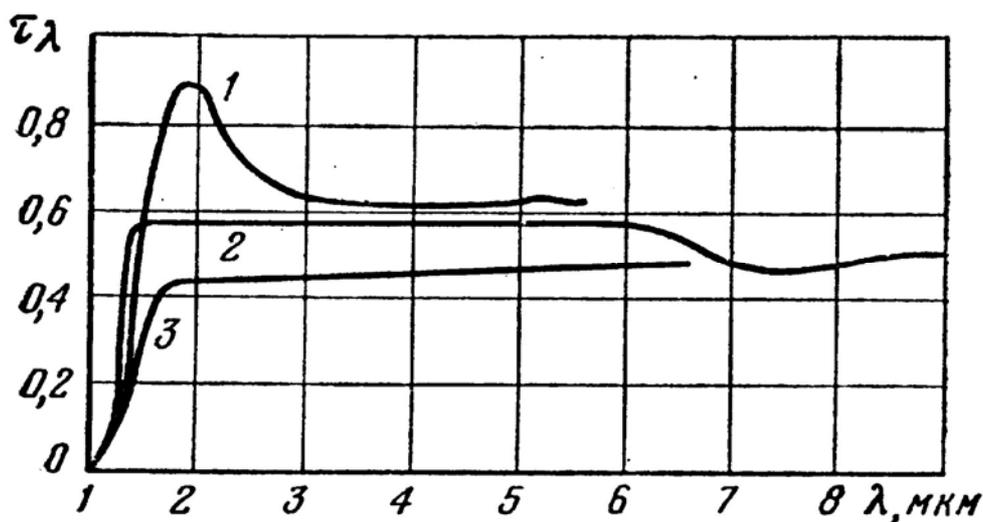


Рис.7.

*Спектральные коэффициенты пропускания фильтров: 1 – германий (просветленный) толщиной 1 мм; 2 – кремний толщиной 5 мм (25° С); 3 – германий толщиной 1 мм (обе поверхности отполированы).*

Учитывая достаточно высокую прозрачность кремния (см. рис. 7) и неизменность его значения пропускания в среднем ИК- диапазоне, мы использовали в качестве фильтра кремниевые полированные пластинки толщиной 5 мм. Измерение энергии ИК излучения проводилось для всей инфракрасной области спектра, начиная с длины волны 1,2 мкм. Исследования

были выполнены для сред, представленных в таблице 1. В этой таблице указаны смещения частоты первой стоксовой компоненты ВКР относительно частоты возбуждающего света, что определяет спектральный диапазон ИК излучения, коэффициенты усиления ВКР, показатели преломления света. Во всех исследуемых средах (кроме  $CS_2$ ) было зарегистрировано ИК излучение, распространяющееся навстречу накачке, сопровождающее процесс ВКР. Условия возбуждения подбирались таким образом, чтобы коэффициент преобразования в ВКР был максимальным, а длина области распространения ИК излучения в среде была минимальной (что позволяет уменьшить поглощение ИК излучения в среде). Условия возбуждения подбирались экспериментально. Для каждой из исследуемых жидкостей проводились измерения зависимости энергии ВКР от энергии возбуждающего излучения для различных геометрических условий освещения объема активной среды (фокусного расстояния используемых линз, положения фокальной перетяжки в объеме активной среды, длины активной среды). Таким образом выбирались условия возбуждения ВКР при которых регистрировалось ИК излучение.

Как видно из рис.6, при возбуждении ВКР имели место сильные флуктуации мощности. Условие получения стабилизированной генерации ВКР состояло в увеличении размера области взаимодействия волны накачки с рассеянной волной. Однако, при этом увеличивалось поглощение ИК - излучения диэлектрической средой и уменьшалась энергия регистрируемого сигнала ИК – излучения.

Максимальные значения коэффициента преобразования  $\eta$  волны накачки в ИК - излучение по энергии представлены в таблице 1. В этой таблице также приведены сдвиги частоты ВКР ( $\Delta \nu$ ), показатели преломления исследованных веществ ( $n$ ) и коэффициенты усиления ВКР ( $g$ ). Как видно из приведенной таблицы, наибольшим коэффициентам усиления ВКР ( $a$ , соответственно, и коэффициентам преобразования волны накачки в волну ВКР) соответствуют наибольшие значения коэффициента преобразования в ИК-излучение. Исключением из этого правила является сероуглерод. Такой факт можно объяснить малой частотой отстройки ( $656 \text{ см}^{-1}$ ). При этом спектр генерации соответствует далёкой инфракрасной области, для которой чувствительность используемой детектирующей аппаратуры может быть недостаточной. Кроме того, в условиях нашего эксперимента в  $CS_2$  могла возникать самофокусировка, приводящая к оптическому пробую.

Максимальное значение коэффициента преобразования было получено для нитробензола ( $6 \cdot 10^{-3}$ ) в направлении “назад”. В данном случае основным процессом, конкурирующим с ВКР, было ВРМБ. Можно полагать, что при понижении эффективности ВРМБ коэффициент преобразования возбуждающего излучения в ИК – генерацию должен существенно возрасти. В частности, это может быть реализовано при понижении температуры материальной среды. Для определения расходимости ИК – излучения проводились измерения его энергии калориметром с приемной площадкой, ограниченной диафрагмой фиксированного размера. Измерения проводились для различных положений приемника относительно активной среды с учётом поперечных размеров диафрагмы. В результате измерений было установлено, что расходимость ИК – излучения, возникающего в наших экспериментах, составила  $10^{-2}$  рад.

*Таблица 1.*

*Характеристики ВКР и вынужденного инфракрасного излучения в различных средах.*

Тип исследуемой жидкости	$\Delta \nu \text{ см}^{-1}$	n	$g, \cdot 10^{-2}, \text{ см/МВт}$	$\eta, \%$
Ацетон $\text{CH}_3\text{COCH}_3$	2921	1.362	0.14	0,06
Бензол $\text{C}_6\text{H}_6$	991	1.504	0.44	0,1
Вода $\text{H}_2\text{O}$	3300	1.33	0.1	0,09
Этанол $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	2921	1.362	0.51	0,5
Нитробензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$	1345	1.553	3.4	0,6
Сероуглерод $\text{CS}_2$	656	1.632	1.9	-----
Четыреххлористый углерод $\text{CCl}_4$	459	1.464	0.13	0,05

### **5. К теории вторичного вынужденного инфракрасного излучения при воздействии на диэлектрическую среду гигантским импульсом.**

Одним из механизмов, приводящих к генерации инфракрасного излучения, предложенный в работе [1], может быть процесс ВКР. Остановимся более детально на этом механизме. Элементарный процесс спонтанного стоксова КР в молекулярных структурах представляет собой поглощение

фотона возбуждающего лазерного излучения ( $\hbar\omega_0$ ) с одновременным испусканием фотона меньшей частоты ( $\hbar\omega_c$ ) и колебательного кванта молекулы. При этом система (молекула) оказывается в возбужденном колебательном состоянии. Такой процесс иллюстрируется схемой энергетических уровней, приведенной на рис.8. Рассмотрим ситуацию, когда в процессе КР участвует centrosymmetric молекула. Как известно, в этом случае выполняется правило альтернативного запрета, т.е. колебательные термы (уровни энергии), разрешенные правилами отбора для процесса КР, запрещены для соответствующих процессов однофотонного инфракрасного поглощения (излучения) и наоборот.

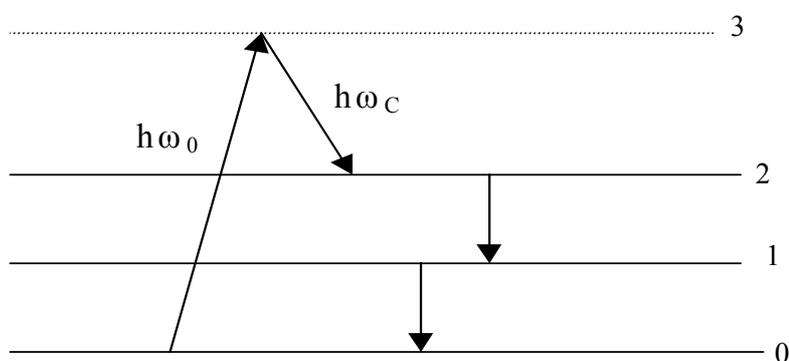


Рис.8

*Схема колебательных энергетических уровней молекулы, участвующей в процессе стокового КР;  $\hbar\omega_0$  – энергия кванта света возбуждающего излучения,  $\hbar\omega_c$  – энергия кванта света рассеянного излучения.*

Предположим, что для такой молекулы переход «0-2» разрешен для КР и соответственно запрещен для ИК, а переходы «0-1» и «1-2» разрешены для ИК и соответственно запрещены для КР. Существует большой класс молекулярных структур, для которых это условие выполняется (например, для молекул бензола, сероуглерода и др.). В случае ВКР с участием колебательного перехода «0-2» происходит эффективное заселение уровня «2», в то время как уровень «1» может оказаться «слабозаселённым» при достаточно низких температурах материальной среды. Таким образом, при этом возможно нарушение теплового распределения молекул по колебательным уровням и возникновение инверсной заселенности на переходе

«2-1». При импульсном возбуждении ВКР и достаточно быстром «обеднении» уровня «1» в таких условиях возможно вынужденное инфракрасное излучение на переходе «2-1», соответствующем среднему или дальнему ИК-диапазону, т.е. длина волны излучения  $\lambda \geq 10$  мкм. Очевидно, что интенсивность ИК генерации в данном процессе определяется скоростью заселения уровня «2», т.е. эффективностью процесса генерации стоксовой компоненты ВКР. Отметим, что одновременная генерация антистоксовой компоненты ВКР в этом случае приводит к уменьшению заселения уровня «2» и понижению эффективности процесса генерации ИК - излучения.

Коэффициент усиления на 1 см для перехода 2-1 вблизи порога генерации имеет вид:

$$\kappa = \frac{\lambda^2}{8\pi} \frac{A_{21}}{\Delta\nu} g_2 \left( \frac{N_2}{g_2} - \frac{N_1}{g_1} \right) = \frac{\lambda^2}{8\pi} \frac{A_{21}}{\Delta\nu} g_{21} \left( \frac{q_2}{w_2 g_2} - \frac{N_1}{g_1} \right), \quad (1)$$

где  $g_2, g_1$  - статистические веса верхнего и нижнего уровней;  $\lambda$  - длина волны перехода 2-1;  $N_2, N_1$  - число молекул в  $1 \text{ см}^3$  на верхнем (2) и нижнем (1) уровнях;  $A_{21}$  - коэффициент Эйнштейна для спонтанного излучения;  $q_2$  - скорость "подкачки" молекул на верхний уровень;  $w_2$  - полная вероятность распада этого уровня;  $\Delta\nu$  - ширина линии спонтанного излучения в  $\text{сек}^{-1}$ . Вдали от резонанса абсолютный квантовый выход комбинационного рассеяния на одну молекулу  $\sigma$  не зависит от частоты возбуждающего света, тогда

$q_2 = \sigma N_0 P / \hbar \omega_0$ , где  $P$  - эффективное значение плотности мощности падающего излучения;  $\omega_0$  - эффективное значение круговой частоты падающего света;  $N_0$  - число молекул в  $1 \text{ см}^3$  в основном состоянии. При достаточно низких температурах вторым слагаемым в (1) можно пренебречь; тогда при длине резонатора  $l = 10 \text{ см}$  и коэффициенте отражения зеркал  $R = 99 \%$  получаем, что необходимое для генерации условие имеет вид:

$$\kappa = \frac{\lambda^2 A_{21} \sigma N_0 P}{8\pi \Delta\nu w_2 \hbar \omega_0} \geq 10^{-3} \quad (2)$$

К условию (2) необходимо добавить требование достаточно быстрого обеднения нижнего рабочего уровня, которое в большинстве случаев выполняется.

Для ориентировочных оценок можно принять для газов:  $\lambda = 10 \text{ мкм}$ ,  $N_0 = 3 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ,  $\sigma = 2 \cdot 10^{-28} \text{ см}^2$ ,  $A_{21} = 10^2 \text{ сек}^{-1}$ ,  $w_2 = 10^2 \text{ сек}^{-1}$ ,  $\Delta\nu = 3 \cdot 10^{10} \text{ сек}^{-1}$ ,

$\hbar\omega_0 = 10^{-12}$  эрг. Тогда из (2) получаем, что генерация возможна при  $P \geq 10^4$  Вт/см<sup>2</sup>. Для жидкости  $N_0 = 3 \cdot 10^{22}$  см<sup>-3</sup>,  $\omega_2 = 10^8$  сек<sup>-1</sup> и из (2) следует, что для генерации необходимо, чтобы выполнялось условие  $P \geq 10^7$  Вт/см<sup>2</sup>. Таким образом, в условиях нашего эксперимента механизм генерации инфракрасного излучения, связанный с ВКР, является вполне оправданным. В то же время следует отметить, что другой механизм возникновения инфракрасной генерации при накачке диэлектрической среды мощным излучением видимого диапазона может быть обусловлен процессом двухфотонного поглощения. Такой механизм должен быть особенно существенным, когда энергия двух квантов возбуждающего излучения оказывается достаточной для перевода молекулы в возбуждённое электронное состояние. Именно такая ситуация имеет место в случае нитробензола, характеризующегося сильным поглощением в области второй оптической гармоники лазера на рубине. После двухфотонного поглощения согласно правилам отбора разрешённым оказывается процесс двухфотонного излучения. При этом спектр такого излучения охватывает широкий диапазон от инфракрасной до ультрафиолетовой области [5].

### 6. Заключение.

Полученные результаты открывают возможность создания источников вынужденного ИК излучения при импульсной накачке диэлектриков излучением видимого или ультрафиолетового диапазонов. Для оптимизации режимов инфракрасной генерации необходимо исследовать спектр этой генерации и установить роль процессов, сопровождающих ВКР.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 03-02-16408 и №05-02-16205)

### Литература

1. Горелик В.С., Зубов В.А., Сущинский М.М., Чирков В.А. Письма в ЖЭТФ, 1966, т.4, вып.2, с.52-54.
2. Терпугов Е.Л., Висковатич В.А., Дегтярева О.В., Фесенко Е.Е. Биофизика, 1998, 6, с.3-12.
3. Терпугов Е.Л., Дегтярева О.В. Письма в ЖЭТФ, 2001, 73, с.320.
4. Terpigov E.L., Degtyareva O.V. J.Mol.Struct., 2001, 289, pp.565-566.

5. *Горелик В.С., Рахматуллаев И.А.* Препринт № 13 Физического института им.П.Н.Лебедева РАН, 2004, стр.37.