

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДЕЛЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ АМПЛИТУДЫ  
И ФАЗЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ВЫНУЖДЕННОМ РАС-  
СЕЙЯНИИ СВЕТА

Н. В. Окладников, А. А. Гармонов, А. Д. Кудрявцева,  
А. И. Соколовская

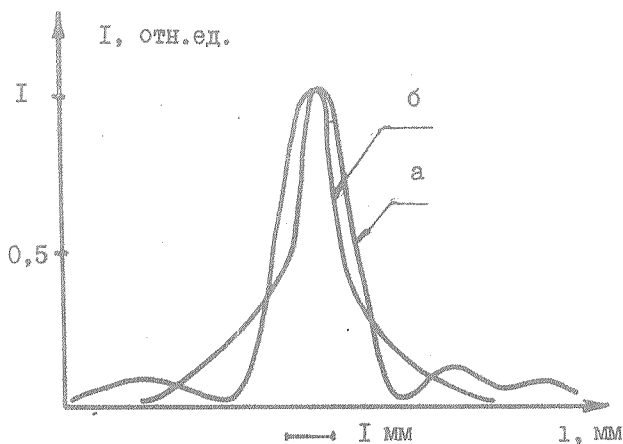
УДК 535.375.55

Установлены экспериментально энергетические пределы наилучшего восстановления амплитуды и фазы возбуждающего лазерного излучения при вынужденном рассеянии в жидком азоте и сероуглероде. Показано, что насыщение усиления приводит к нарушению эффекта восстановления.

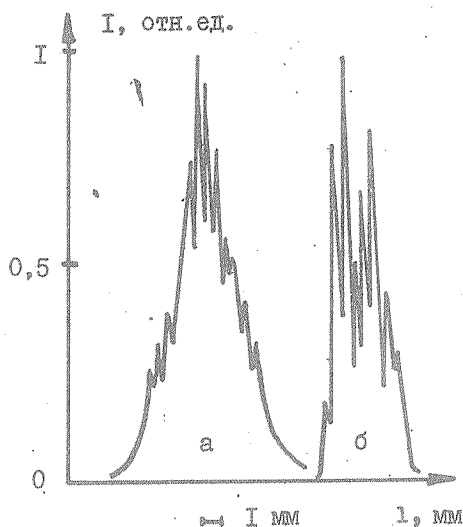
При вынужденном комбинационном рассеянии света (ВКР) при определенных толщине слоя рассеивающего вещества и плотности мощности лазерного излучения наблюдается восстановление яркости, расходимости и распределения интенсивности возбуждающего излучения, падающего на рассеивающую среду. При внесении в возбуждающий пучок света полупрозрачного объекта в пучке ВКР восстанавливается его объемное изображение по законам голографии. Рассеивающая среда в течение импульса накачки осуществляет регистрацию волнового фронта возбуждающего излучения и одновременную передачу записанной информации полю ВКР света. Экспериментальные исследования показали, что волновой фронт накачки записывается благодаря изменению мнимой части нелинейной восприимчивости среды (коэффициента усиления) в соответствии с распределением интенсивности в интерференционном поле накачки /1,2/.

В настоящей работе определялись энергетические пределы воспроизведения амплитудных и фазовых характеристик накачки в поле ВКР "назад" в жидком азоте и при вынужденном рассеянии

Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) в сероуглероде при возбуждении излучением различной длины волны. Вынужденные рассеяния возбуждались с помощью рубинового лазера ( $\lambda = 0,694$  мкм), лазера на неодимовом стекле ( $\lambda = 1,06$  мкм) и его второй ( $\lambda = 0,53$  мкм) гармоники. Длительность импульсов составляла 20 – 25 нс. Экспериментальная установка детально описана в наших предыдущих работах (см., например, /1-5/). Отметим только, что изображение, восстановленное в пучке ВР, регистрировалось на фотопластинку, фурье-спектр ВР фотографировался с помощью камеры с фокусным расстоянием 840 мм. Необходимая длина волны выделялась с помощью селективных светофильтров. В работе /3/ было показано, что пучок ВКР "назад" не является точной копией пучка накачки. Расходимость возбуждающего излучения составляла  $46 \pm 2'$ , расходимость ВКР "назад" в жидком азоте  $30' \pm 2'$ .



Р и с. 1. Распределение энергии в дальнем поле по сечению пучков возбуждающего излучения (а) и первой стоксовой компоненты ВКР (б) в случае возбуждения ВКР одноименным излучением



Р и с. 2. Распределение энергии в дальнем поле по сечению пучков возбуждающего излучения (а) и первой стоксовой компоненты ВКР (б) в случае возбуждения ВКР многомодовым излучением

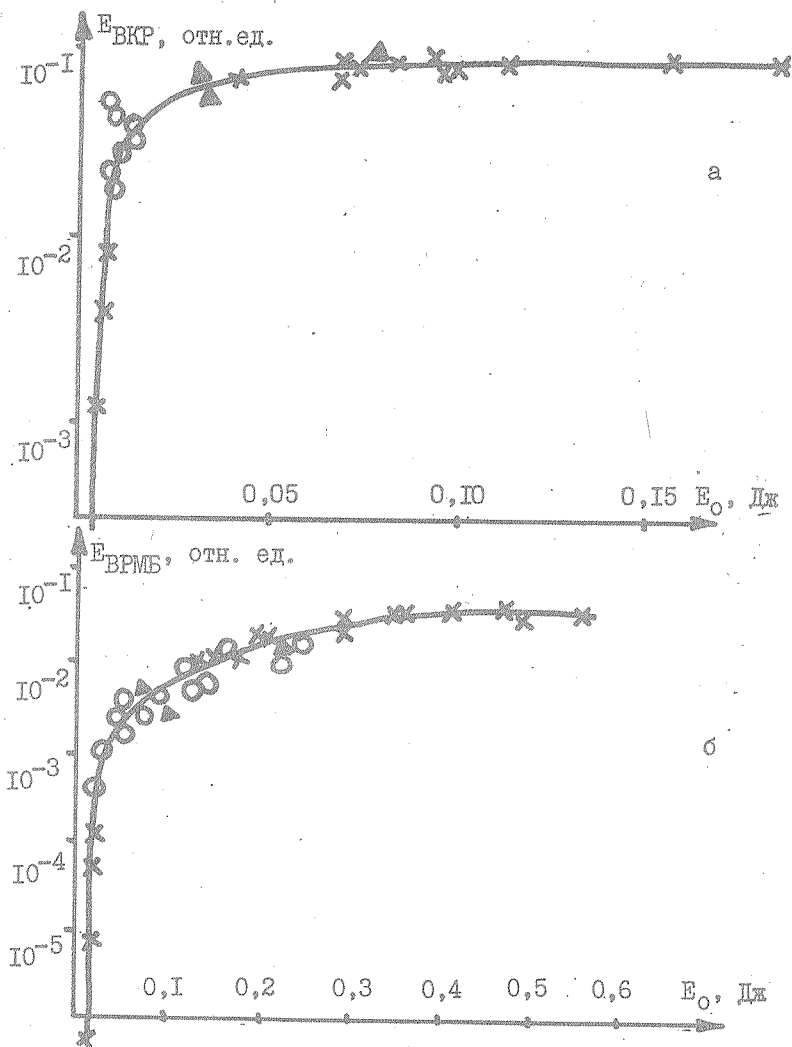
На рис. 1,2 приводятся результаты фотометрирования распределения интенсивности в дальнем поле возбуждающего излучения одномодового и многомодового рубинового лазеров и соответствующее возбуждению этими лазерами распределение интенсивности ВКР "назад" в жидком азоте. Как видно из рисунков, максимумы интенсивности в пучке накачки подчеркиваются в пучке ВКР. Дальнейшее увеличение энергии накачки приводило к уменьшению контраста между минимумами и максимумами интенсивности так, что распределение интенсивности ВР в дальнем поле становилось существенно отличным от распределения интенсивности накачки. Причиной сглаживания неоднородностей и утери информации об амплитудном распределении накачки может быть насыщение усиления ВР

вблизи выходных окон кюветы при больших мощностях накачки. Для выяснения энергетических пределов существования эффекта восстановления и роли насыщения усиления наблюдались одновременно воспроизведение в пучке ВР фурье-спектра и изображения объекта при различных значениях энергии накачки.

В качестве полупрозрачного объекта использовалась проводочная сетка (толщина проволок 80 мкм, расстояние между ними — 500 мкм). Дифракция на таком объекте составляет около 40% от падающего пучка по энергии. Эта величина была получена при сравнении кривых фотометрирования углового распределения лазерного пучка при внесенном в этот пучок объекте и в отсутствие объекта в пучке. Кривые, нормированные по максимуму интенсивности, накладывались друг на друга. За величину дифракции мы принимали отношение площади под боковыми крыльями, появляющимися в результате дифракции, к площади под всей кривой.

Экспериментальные результаты, полученные при возбуждении ВКР в жидком азоте излучением второй гармоники неодимового лазера, приведены на рис. 3 (а). На полученной кривой зависимости энергии ВКР от энергии возбуждающего излучения можно выделить три области. В первой области (энергия накачки от 0,001 Дж до 0,015 Дж) в пучке ВКР было зарегистрировано восстановление фурье-спектра накачки и изображения объекта. Для следующей области (0,015–0,040 Дж) характерно увеличение контраста фурье-спектра ВКР по отношению к накачке. Резко выделяется центральный максимум, ширина которого на половине высоты (считая от фона) составляет менее половины угловой ширины лазерного излучения на той же высоте. Изображение объекта при этом заметно искажается. При превышении энергией накачки 0,04 Дж начинается насыщение усиления ВКР, что проявляется в искажении углового спектра: увеличении его ширины и сглаживании профиля. Изображение объекта в области насыщения не воспроизводится.

Аналогичные результаты получены при возбуждении ВРМБ в сероуглероде излучением основной гармоники неодимового лазера (рис. 3(б)). Энергия ВРМБ менялась от  $10^{-4}$  Дж до  $10^{-1}$  Дж при изменении энергии импульсов возбуждающего излучения от 0,01 Дж до 0,6 Дж.



Р и с. 3. Зависимость энергии излучения ВКР (а) и ВРМБ (б) от энергии возбуждающего излучения  $x$  - амплитуда и фаза накачки не восстанавливаются при ВР,  $\downarrow$  - амплитуда и фаза накачки восстанавливаются,  $\triangle$  - имеются искажения амплитуды и фазы накачки при ВР. Фокусное расстояние линзы: 200 мм (а) и 70 мм (б), глубина фокусировки в вещество: 25 мм (а) и 15 мм (б)

По результатам настоящей работы, а также работ /1,2/, можно сделать заключение о том, что независимо от длины волны возбуждающего и рассеянного излучения и вида рассеяния наилучшее воспроизведение амплитуды и фазы возбуждающего излучения при ВР имеет место в определенных областях зависимости  $E_{ВР}$  от  $E_0$ . Точки, в которых наблюдалось восстановление изображения объекта и углового распределения накачки, на рис. 3 обведены кружком. Интервал наилучшего воспроизведения включает в себя область быстрого роста ВР и область вблизи насыщения усиления ВР. При насыщении усиления не происходит воспроизведения информации об амплитуде и фазе накачки.

Полученные нами экспериментальные результаты хорошо согласуются со следующим качественным описанием процесса восстановления волнового фронта света при вынужденных рассеяниях. В условиях наших экспериментов угловой спектр возбуждающего излучения после прохождения через полупрозрачный объект и фокусирующую линзу состоял из интенсивной нулевой компоненты дифракции (света, прошедшего через объект без отклонений) и слабых по интенсивности компонент дифракции высших порядков. Благодаря тому, что максимальная интенсивность лазерного излучения сосредоточена в нулевой компоненте Фурье-спектра, именно в этой области происходит наиболее эффективное преобразование излучения в ВР /4/. Заправкой для вынужденного рассеяния служит спонтанное некогерентное излучение, которое, усиливаясь в конусе, образованном возбуждающим излучением, с максимальным для данной среды инкрементом, частично воспроизводит некоторые параметры накачки (яркость, расходимость, пространственную когерентность). Наиболее эффективная и полная передача информации об амплитуде и фазе возбуждающего излучения происходит в граничном слое среды, играющем роль динамической усиливающей голограммы /5/. Характерной особенностью данного слоя является то, что в нем локальные значения инкремента усиления ВР пропорциональны интенсивности возбуждающего излучения. В условиях же, когда область насыщения усиления ВР располагается по всей длине рассеивающей среды (в том числе и на ее границе), моду-

лиция интенсивности рассеянного излучения полем накачки отсутствует и восстановление амплитуды и фазы накачки в рассеянном свете не наблюдается.

Поступила в редакцию  
8 сентября 1980 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Г. Л. Бреховских, Н. В. Окладников, А. И. Соколовская, ЖПС, 32, 24 (1980).
2. Г. Л. Бреховских, А. И. Соколовская, Н. В. Окладников, Материалы XI Всесоюзной школы по голографии, Л., 1979 г., стр. 58.
3. А. Д. Кудрявцева, А. И. Соколовская, М. М. Сушинский, ЖЭТФ, 59, 1556 (1970).
4. Г. Л. Бреховских, А. И. Соколовская, Н. В. Окладников, Краткие сообщения по физике ФИАН № 1, 8 (1979).
5. Г. Л. Бреховских, А. И. Соколовская, Краткие сообщения по физике ФИАН № 12, 32 (1977).