

УДК 5535.361; 535.435

РЕГЕНЕРАТИВНОЕ УСИЛЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ ЛИНИИ РЭЛЕЯ В ЖИДКОСТИ

М. А. Давыдов, С. М. Першин

Показано, что сигнал рэлеевского рассеяния, возбуждаемого в жидкости в процессе четырехволнового смешения излучения диодных лазеров, разность частот которых перестраивается в окрестности малых отстроек, усиливается в активном элементе пробного лазера.

Ключевые слова: четырехфотонное рассеяние, волновой синхронизм, линия Рэля.

Ранее мы сообщали о наблюдении четырехфотонного сигнала рэлеевского рассеяния излучения диодных лазеров в ряде веществ [1–3]. Сигнал рассеяния здесь является результатом взаимодействия излучения пробного лазера с объемной дифракционной решеткой, которая индуцируется в среде при интерференции излучения пробного лазера и излучения накачки. Рассеяние пробного излучения на решетке показателя преломления формирует сигнал, который несёт информацию о компонентах тензора нелинейной восприимчивости среды χ_3 (см., напр., [4] и цитированную там литературу). Изменение разности частот пробного лазера и лазера накачки приводит к изменению интенсивности сигнала четырехволнового смешения. В общем случае, в области малых частотных отстроек, расположена линия Рэля (см. напр., [5]). Ее ширина в однокомпонентной среде обратно пропорциональна времени релаксации анизотропии. Но было не совсем ясно – каким образом формируется наблюдаемый сигнал рассеяния в нелинейном процессе взаимодействия излучения маломощных лазеров на кубической нелинейности. Целью работы являлось выяснение роли регенеративного усиления сигнала рассеяния в одном из лазеров в геометрии встречного взаимодействия пучков [1–3].

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Излучение двух полупроводниковых лазеров типа ИЛВР-1 (ширина линии излучения ~ 1 МГц, диапазон перестройки по частоте ~ 30 ГГц, мощность $P \sim 50$ мВт, поляризация – линейная, около 99%) было направлено навстречу друг другу и сведено с помощью вспомогательной диафрагмы диаметром ~ 50 мкм под углом ~ 179.2 – 179.3 град в кювете К с исследуемым веществом (в данном случае – химически чистые этанол либо ацетон).

С целью пространственной фильтрации излучения лазеров при помощи плоских зеркал оптический путь (расстояние от лазеров до кюветы) был увеличен до $\sim 7-8$ м. В пучке излучения лазера накачки Л1 установлен изолятор Фарадея (ИФ) для развязки лазера и рассеивающего объема К, а также четвертьволновая пластинка П для преобразования линейной поляризации излучения накачки в круговую. Пучок накачки сфокусирован в кювету К с помощью сферического зеркала З1 (радиус $R = 1000$ мм, коэффициент отражения $r = 99.6\%$). Прошедшее кювету излучение накачки блокировано зачерненным металлическим экраном Э. Излучение пробного лазера Л2 было сфокусировано в кювету К зеркалом З2 (радиус $R = 1000$ мм, коэффициент отражения $r = 90\%$) навстречу пучку лазера накачки Л1. Прошедшее кювету излучение пробного лазера проходило через диафрагму Д1, поляризационный анализатор А1 (призма Глана), скрещенный с направлением поляризации пучка пробного лазера и попадало на фотоприемник Ф1 (ФЭУ-79). Таким образом, регистрируемый Ф1 сигнал представлял собой деполаризованную часть излучения пробного лазера (которая пропорциональна компонентам тензора кубической восприимчивости среды [4] и содержит, в том числе, деполаризованную часть, вызванную процессом четырехфотонного взаимодействия). Позади зеркала З2 на оси, продолжающей луч, вышедший из кюветы и идущий точно по направлению в пробный лазер, были установлены диафрагма Д2, анализатор А2 (призма Глана) и фотоприемник Ф4 (ФЭУ-79), настроенные также, как подобные элементы в первом канале. Также за зеркалом З2 установлен фотоприемник Ф2 (фотодиод ФД-24) – для контроля излучения, идущего из лазера Л2 в кювету. В процессе измерений излучение лазера накачки перестраивали по частоте в диапазоне 30 ГГц. Контроль перестройки осуществляли с помощью кюветы R с парами рубидия и фотоприемника Ф3 (ФД-24). Частота излучения пробного лазера фиксирована. Сигналы с фотоприемников регистрировали с помощью запоминающего осциллографа Tektronix TDS 2024B. При настройке схемы тщательно контролировали отсутствие паразитных засветок на фотоприемниках и входных зеркалах лазеров. Все измерения проводили при одинаковых параметрах установки. Как в этаноле, так и в ацетоне были зарегистрированы идентичные сигналы четырехфотонного рассеяния (различие в амплитуде и ширине линии для цели настоящей работы несущественно). Результаты измерений на примере этанола представлены на осциллограммах рис. 2 (а), (б), (в). Здесь: развертка “1” – прошедший через кювету четырехфотонный сигнал с приемника Ф1; развертка “2” – четырехфотонный сигнал с приемника Ф2 (до кюветы); развертка “3” – на всех осциллограммах одинаковая – контрольный сигнал с приемника Ф3 при перестройке лазера

накачки (видны линии поглощения излучения накачки парами рубидия); развертка “4” – “шумовой” сигнал с приемника $\Phi 4$, направленный из области взаимодействия пучков в кювете “назад”, в пробный лазер Л2.

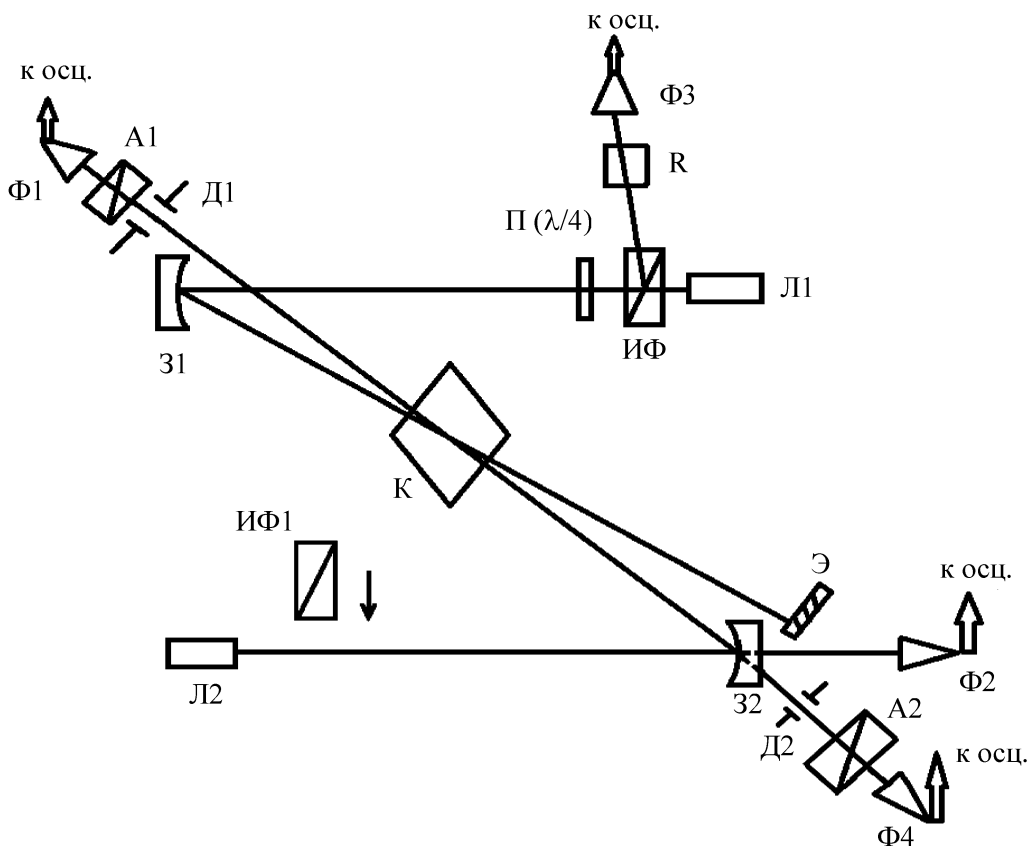


Рис. 1: Схема эксперимента. Здесь: Л1, Л2 – лазеры накачки и пробный соответственно; К – кварцевая кювета с исследуемым веществом; З1, З2 – фокусирующие зеркала; ИФ, ИФ1 – изоляторы Фарадея; П – четвертьволновая пластинка; А1, А2 – поляризационные анализаторы (призма Глана); $\Phi 1$ – $\Phi 4$ – фотоприемники, Д1, Д2 – диафрагмы, Э – экран, блокирующий излучение накачки, прошедшее через кювету К, R – кювета с парами рубидия.

Из схемы эксперимента (рис. 1) и осциллограмм (рис. 2) следует, что при мощности излучения лазера накачки и пробного лазера 25 и 40 мВт, соответственно, в кювете с этанолом (или ацетоном) происходит когерентный процесс четырехфотонного взаимодействия, удовлетворяющий условию синхронизма для волновых векторов взаимодействующих волн [4]. В соответствии с условиями синхронизма при совпадении

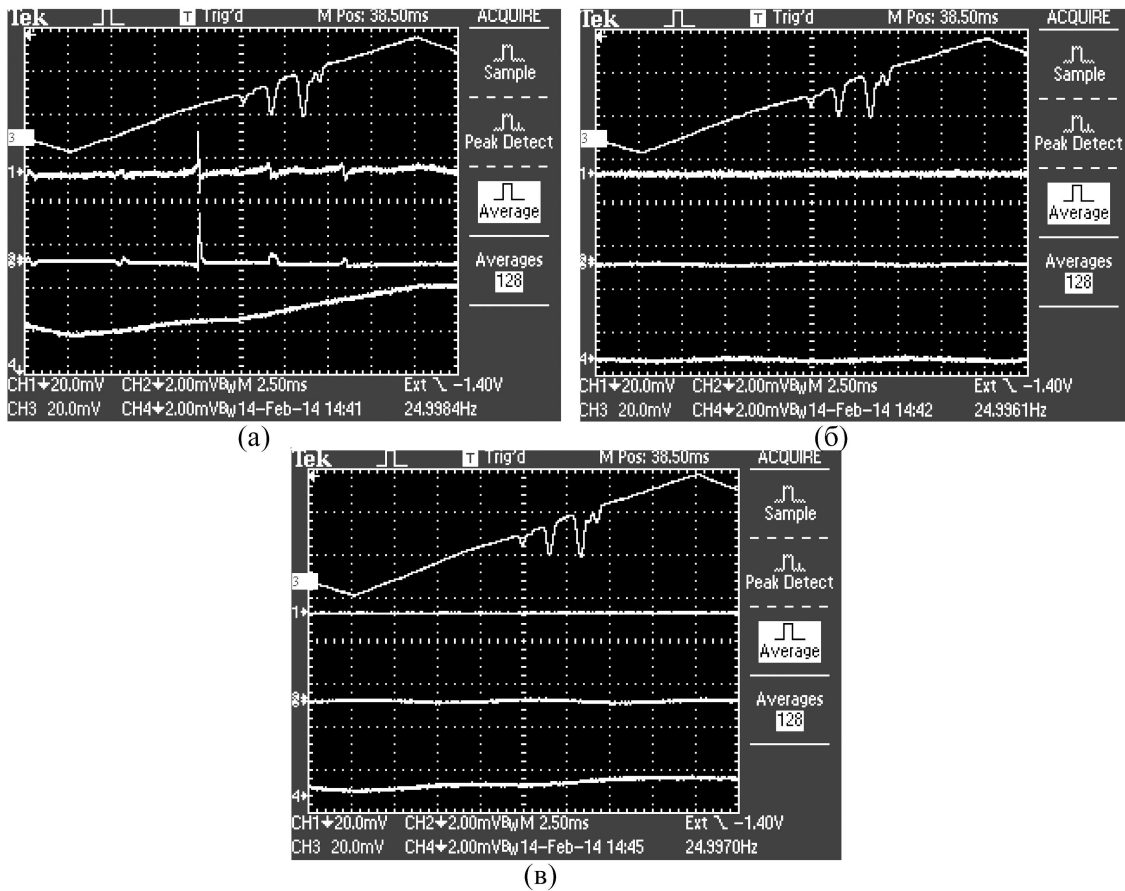


Рис. 2: Результаты измерений: (а) Лучи пробного лазера и лазера накачки взаимодействуют в кювете К. Развертки “1” и “2” – четырехфотонный сигнал с соответствующих приемников $\Phi 1$ и $\Phi 2$; развертка “4” – четырехфотонный сигнал + фоновый сигнал (попавшая на приемник $\Phi 4$ засветка от лазера накачки (сравните с рис. 2 (в)). Развертка “3” здесь и далее – контроль перестройки лазера накачки по линиям поглощения рубидия; (б) Перекрыт пучок накачки до кюветы – отсутствуют сигналы на развертках “1”, “2”, “4”; (в) Перекрыт пробный пучок до кюветы: отсутствует четырехфотонный сигнал (развертки “1”, “2”); пилообразный сигнал амплитудой ок. 1 мВ на развертке “4” обусловлен тем, что фотоприемник $\Phi 4$ не полностью экранирован от попадания излучения накачки.

частот лазеров (вырожденный случай при малой отстройке) деполяризованная вследствие взаимодействия часть излучения лазера Л1, рассеянная на индуцированной в жидкости решетке, будет направлена строго в лазер Л2 (как при обращении волнового фронта). Об этом свидетельствует появление сигнала с фотоприемника $\Phi 4$. Естествен-

но ожидать, что данный сигнал, после его усиления в лазере Л2, будет зарегистрирован приемником Ф1, что и наблюдали на опыте (см. развертки 4 на рис. 2 (а), (б)). Этот сигнал порожден молекулярными шумами жидкости, имеющими место в области взаимодействия пучков и содержащими “затравку” четырехфотонного сигнала. Часть этих шумов попадает в сигнальный лазер, там усиливается и, вновь пройдя через область взаимодействия в кювете К, попадает на фотоприемник Ф1.

Для проверки рассмотренного механизма были проведены контрольные измерения:

1. Блокировали излучение одного из лазеров Л1 или Л2 попеременно. Установлено отсутствие наведенной решетки четырехфотонного взаимодействия, которое проявлялось как отсутствие сигнала на приемниках Ф1, Ф2 и Ф4 (см. развертки 1-2-4 на рис. 2(б) и 2(в)). Отсюда следует, что сигнал, который распространялся в сторону лазера Л2, являлся результатом нелинейно-оптического четырехфотонного взаимодействия, а не рассеяния излучения лазера Л1 на индуцируемой им тепловой линзе или на неоднородностях и примесях, взвешенных в жидкости.

2. Установили перед лазером Л2 поляризационный изолятор Фарадея ИФ1. Изолятор был ориентирован так, чтобы пропускать излучение лазера на основной поляризации и блокировать деполяризованную компоненту четырехфотонного взаимодействия от попадания в пробный (Л2) лазер (см. рис. 1). В этом случае также не удалось обнаружить сигнал четырехфотонного нелинейно-оптического взаимодействия.

Таким образом, установлено, что в схеме встречного четырехфотонного взаимодействия, в которой выполняются условия волнового синхронизма, происходит регенеративное усиление сигнала в активной среде лазера. Большой коэффициент усиления диодного лазера обеспечивает надежную регистрацию сигнала рэлеевского рассеяния в случае малых отстроек частоты диодных лазеров, амплитуда которого кратно превышает шумовой уровень приемника. Выключение механизма усиления с помощью изолятора Фарадея проявлялось в отсутствие сигнала рассеяния при тех же уровнях мощности (несколько десятков мВт) диодных лазеров.

Авторы считают своим долгом поблагодарить Л. Л. Чайкова за полезные обсуждения.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 14-02-0018а), ОФН РАН (программа “Спектроскопия и стандарты частоты”), Президиума РАН (программа № 28, подпрограмма “Физика, химия и биология воды”) и гранта Президента РФ НШ-4484.2014.2.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] A. F. Bunkin, M. A. Davydov, A. Yu. Ivochkin, and S. M. Pershin, *Physics of Wave Phenomena* **19**(4), 256 (2011).
- [2] A. F. Bunkin, M. A. Davydov, A. Yu. Ivochkin, et al., *Physics of Wave Phenomena* **20**(4), 251 (2012).
- [3] A. F. Bunkin, M. A. Davydov, A. Yu. Ivochkin, et al., *Laser Phys.* **23**(1), 015703 (2013), (5pp) doi:10.1088/1054-660X/23/1/015703.
- [4] С. А. Ахманов, Н. И. Коротеев, *Нелинейная лазерная спектроскопия* (М., Наука, 1981).
- [5] И. Л. Фабелинский, *Известия АН СССР* **17**, N 5, 538 (1953).

Поступила в редакцию 4 марта 2014 г.