

УДК 535.375.54

А.Д. Кудрявцева¹, Н.В. Чернега¹, К.И. Земсков¹, В.В. Савранский²,
М.П. Жиленко³, Г.В. Лисичкин³, Г.В. Эрлих³

¹ *Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Россия,*

119991, Москва, Ленинский пр., 53, E-mail: akudr@sci.lebedev.ru

² *Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Россия, 119991,*

Москва, ул. Вавилова, 38, E-mail: savr@nsc.gpi.ru

³ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Россия, 119991, Москва, Воробьевы горы, E-mail: h-ehrllich@yandex.ru*

ЛАЗЕРНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ГИГА- И ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА В СУСПЕНЗИЯХ НАНОЧАСТИЦ

АННОТАЦИЯ

В работе реализовано вынужденное низкочастотное рассеяние света в водных суспензиях наночастиц различной природы, возникающее в результате взаимодействия лазерных импульсов с акустическими колебаниями наночастиц. Частотные сдвиги компонент рассеяния определяются собственными частотами наночастиц, лежащими в гигагерцовом и ближнем терагерцовом диапазоне. В суспензии сульфида цинка наблюдалось направленное рентгеновское излучение под действием наносекундных лазерных импульсов.

СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ, ЛАЗЕР, ВЫНУЖДЕННЫЕ РАССЕЯНИЯ, НАНОЧАСТИЦЫ, СУСПЕНЗИИ

ВВЕДЕНИЕ

Нanomатериалы находят все большее применение в самых разных областях науки и передовых технологий. В ряде случаев, как для научных исследований, так и для практических применений удобно использовать суспензии наночастиц в жидкостях. Например, водные суспензии детонационных наноалмазов применяются в качестве сорбентов и катализаторов; предлагается использовать их в медицине и биологии. Эффективность нелинейных процессов может увеличиваться в том случае, когда наночастицы находятся в жидкой среде. Одним из методов исследования наноразмерных материалов является применение низкочастотного комбинационного рассеяния света, возникающего при взаимодействии световых полей с акустическими колебаниями наночастиц или элементов наноструктуры вещества. Впервые такое рассеяние наблюдалось в работе [1] и затем исследовалось в целом ряде работ как экспериментально, так и теоретически [2-5]. Частотные сдвиги компонент низкочастотного комбинационного рассеяния света определяются собственными частотами акустических колебаний наночастиц или элементов структуры наноструктурированных материалов. В работе [5] было показано, что данный тип рассеяния может быть использован для определения формы и размеров наночастиц в различных системах. Так, было предложено использовать низкочастотное КР на колебаниях формы жидкой капли для определения спектра аэрозольных частиц по размерам [6].

Известно, что для каждого вида рассеяния света при определенных условиях может наблюдаться вынужденное рассеяние. Вынужденное низкочастотное рассеяние света (ВНКР) впервые наблюдалось в синтетических опаловых матрицах и наноккомпозитах на их основе [7]. В работах [8, 9] было реализовано вынужденное рассеяние света, вызванное взаимодействием лазерного излучения с локализованными акустическими модами структурных неоднородностей. Исследовались поликластерные алмазные пленки, пленки нитрида алюминия (AlN) и пленки оксида индия и олова (ITO). Все эти материалы можно охарактеризовать средними размерами структурных неоднородностей, которые определяются условиями роста. Размеры неоднородностей – порядка нескольких сотен нанометров (от 900 нм до 1000 нм). Собственные частоты акустических колебаний таких неоднородностей расположены в гигагерцовом диапазоне. В работах [10, 11] наблюдалось вынужденное рассеяние света, возникающее при взаимодействии лазерных импульсов с детонационными наноалмазами и с металлическими наночастицами в водных суспензиях.

Целью данной работы было реализовать вынужденное рассеяние света и другие нелинейные эффекты, вызванные взаимодействием лазерного излучения с акустическими колебаниями наночастиц различного типа в водных суспензиях.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Схема установки

Схема экспериментальной установки приведена на рис.1. В качестве источника возбуждения вынужденного низкочастотного комбинационного рассеяния света (ВНКР) использовался рубиновый лазер с модулированной добротностью ($\lambda = 694,3$ нм, $\tau = 20$ нс, $E_{\max} = 0,3$ Дж, $\Delta\nu = 0,015\text{см}^{-1}$, расходимость $3,5 \cdot 10^{-4}$ рад.). В некоторых экспериментах использовался лазер на парах меди (средняя мощность в зеленой (510 нм) и желтой (578 нм) линиях ~ 3 Вт, частота повторений – 10 кГц, длительность импульса ~ 15 нс). Измерения проводились для линз с различными фокусными расстояниями (50, 90, 150 мм), для различных положений исследуемого образца относительно фокусирующей оптики и для различных энергий возбуждающего излучения. Это позволяло проводить измерения для различных плотностей мощности на входе в исследуемый образец и для различных распределений поля внутри образца. ВНКР регистрировалось с помощью интерферометров Фабри - Перо с различными базами, что позволяло менять область дисперсии от 0,42 до $16,67\text{ см}^{-1}$. Зеркало (8) использовалось для регистрации спектра возбуждающего излучения одновременно со спектром рассеянного света. Схема экспериментальной установки приведена на рис.1.

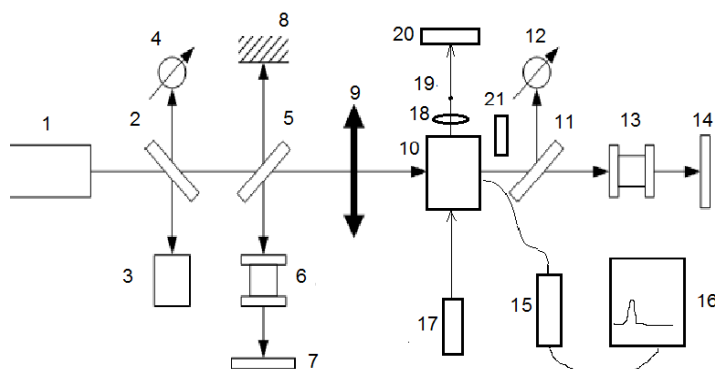


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. 1 – лазер (рубиновый или на парах меди), 2, 5, 11 - стеклянные пластины, 3 - система регистрации характеристик возбуждающего излучения, 4, 12 - системы измерения энергии рассеянного света в прямом и обратном направлении, 6, 13 - интерферометры Фабри-Перо; 7, 14 - системы регистрации интерферограмм; 8 – зеркало; 9 - линза, фокусирующая возбуждающее излучение на образец; 10 – образец – кювета с суспензией наночастиц; 15 – миниспектрометр с волоконными световодами; 16 – компьютер; 17 – He-Ne лазер; 18 – линза; 19 – непрозрачный экран; 20 – скоростная камера; 21 – кассета для регистрации рентгеновского излучения.

Объекты исследований

В качестве образцов использовались водные суспензии наночастиц серебра, золота, сульфида цинка, фторида лантана.

Для приготовления суспензии наноразмерного ZnS использовали гептагидрат сульфата цинка, нонагидрат сульфида натрия (Sigma-Aldrich, 99%) и L-глицин (Reanal) без дополнительной очистки. Глицин использовался для модифицирования наночастиц ZnS, что предотвращало их агрегацию. Синтез вели при комнатной температуре. В 20 мл водного раствора глицина добавляли капля за каплей по 0,03 мл 0,5 М растворов ZnSO₄ и Na₂S при перемешивании. Таким образом получали оптически прозрачную суспензию [12].

Результаты рентгенофазового анализа показали, что как немодифицированный ZnS, так и ZnS, модифицированный глицином, характеризуются тремя широкими пиками (111), (220) и (311), соответствующими кубической фазе сульфида цинка – сфалериту (рис.2).

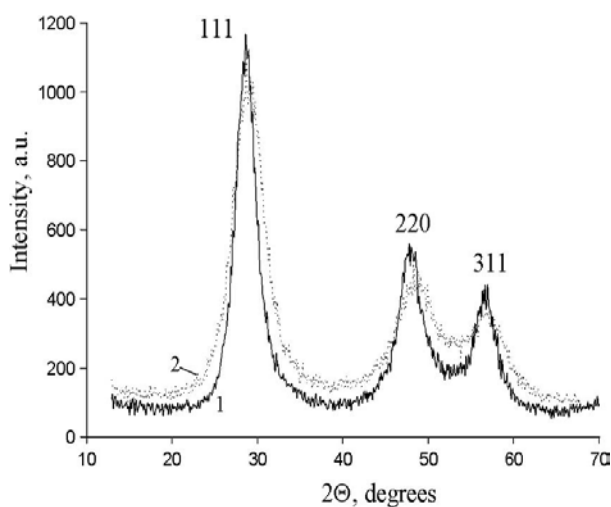


Рис. 2. Рентгеновская дифракционная картина немодифицированного ZnS (1) и ZnS, модифицированного глицином (2).

Распределение частиц в коллоидных растворах по размерам исследовалось с помощью метода динамического рассеяния света (DLS) на анализаторе Zetasizer Nano ZS (Malvern).

Гистограмма распределения наночастиц ZnS по размерам приведена на рис. 3.

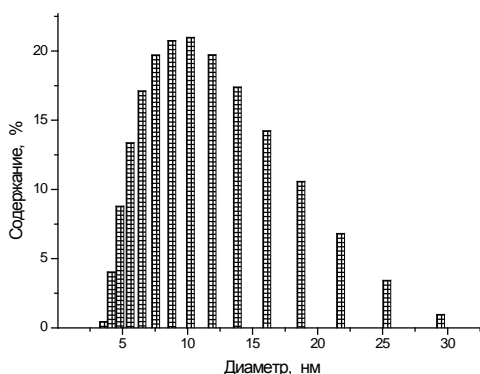


Рис. 3. Гистограмма распределения наночастиц ZnS по размерам.

Получение суспензий наночастиц золота и серебра осуществлялось по стандартной схеме, изложенной в [13]. На рис. 4 и 5 приведены микрофотографии суспензий наночастиц золота и серебра и гистограммы распределения наночастиц по размерам.

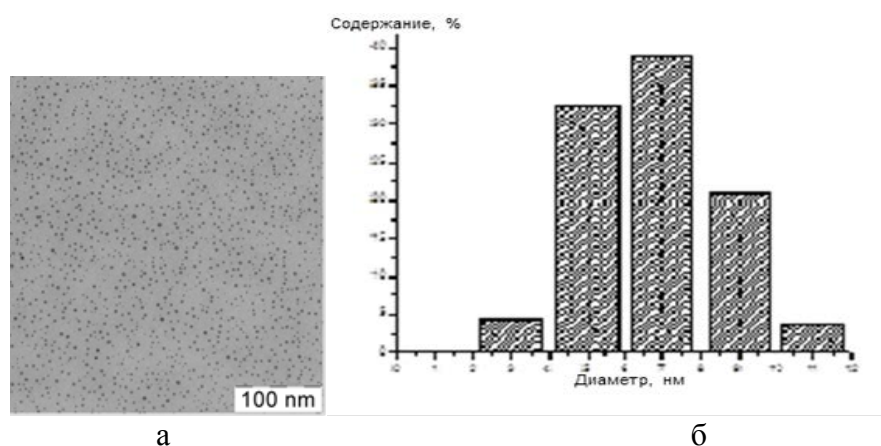


Рис. 4. Электронная микрофотография (а) и гистограмма распределения наночастиц по размерам (б) для суспензии золотых наночастиц.

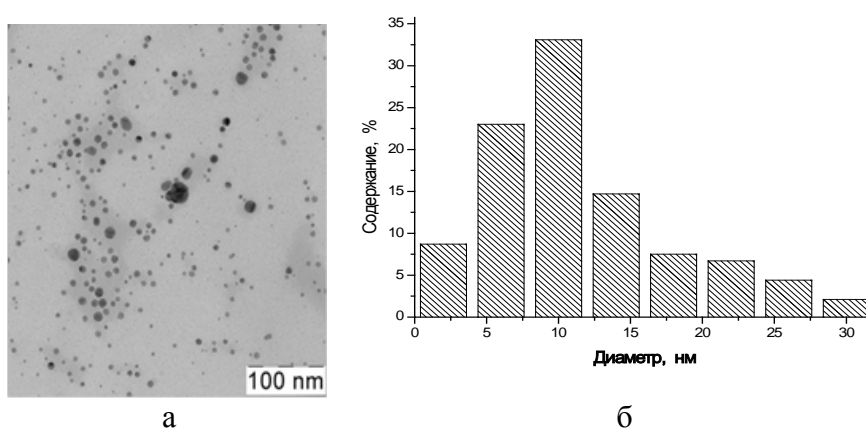


Рис. 5. Электронная микрофотография (а) и гистограмма распределения наночастиц по размерам (б) для суспензии серебряных наночастиц.

Приготовление наночастиц LaF_3 осуществлялось следующим образом. Раствор аминокислоты в 100 мл воды нейтрализовался NaOH (до pH, равного 8,5). Раствор нагревался до 75°C . Растворы LaCl_3 (или смесь LaCl_3 и $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$) в 20 мл воды и NaF в 20 мл воды добавлялись по каплям в раствор аминокислоты, который во время синтеза непрерывно перемешивался при 75°C . Все реактивы, использованные для синтеза, имели марку ЧДА. Количества реагентов, использованных для синтеза, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Количества (в молях) реагентов, использованных для синтеза коллоидных растворов LaF_3

Образец	LaCl_3	$\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$	NaF	Глицин
I	$4,95 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
II	$1,67 \cdot 10^{-3}$	—	$5 \cdot 10^{-3}$	$1,67 \cdot 10^{-3}$
III	$4,9997826 \cdot 10^{-3}$	$0,2174 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$

Все коллоидные растворы исследовались в том виде, в котором были получены. На рисунке 6 приведены распределения наночастиц LaF_3 по размерам для различных образцов.

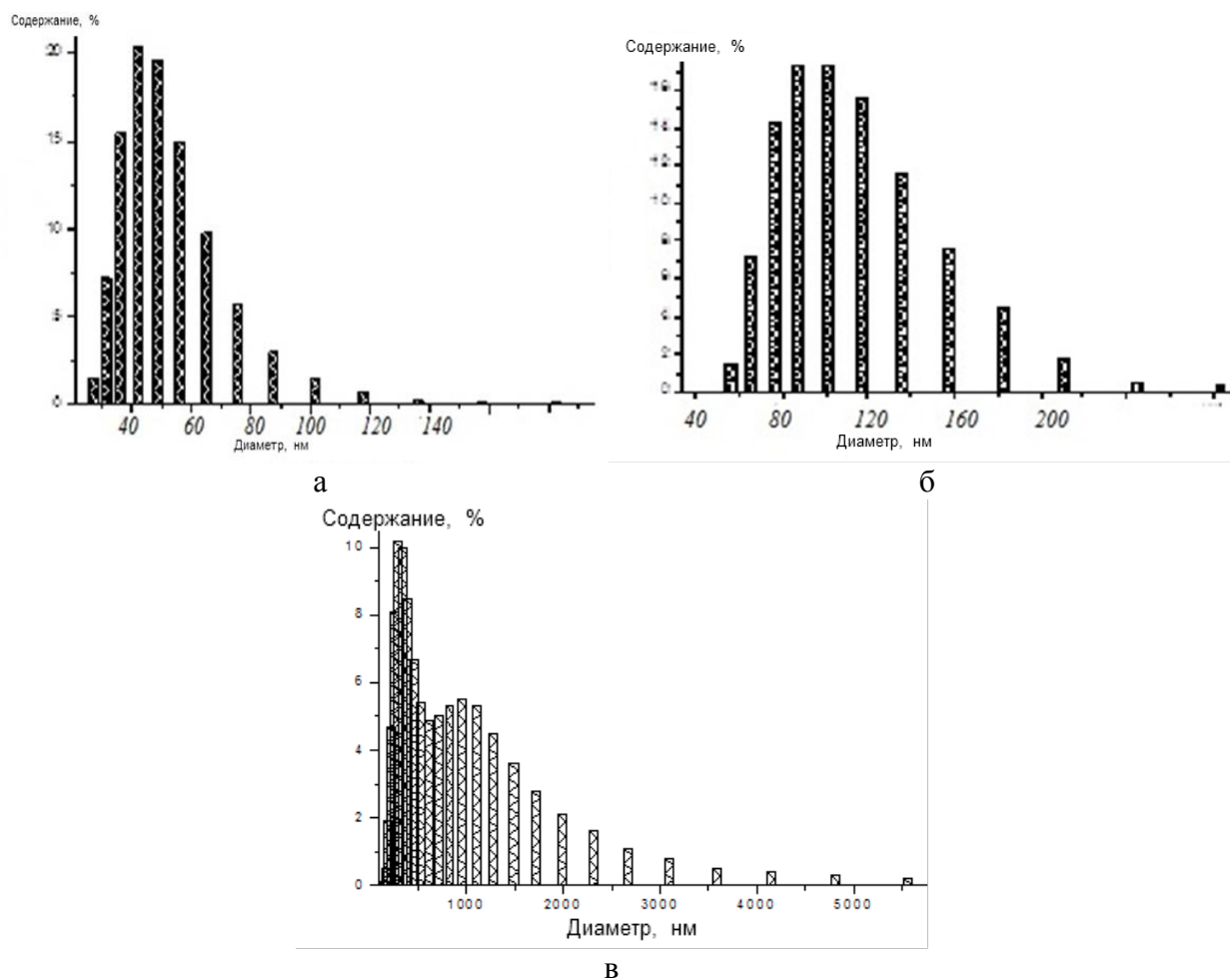


Рис.6. Гистограммы распределения наночастиц LaF₃ по размерам в суспензиях: образцы 1(а), 2 (б) и 3(в).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Характеристики ВНКР

Во всех исследованных образцах при превышении лазерным излучением порогового значения наблюдалось вынужденное низкочастотное комбинационное рассеяние (ВНКР), являющееся результатом нелинейного взаимодействия импульсного лазерного излучения и собственных акустических колебаний наночастиц.

Экспериментально эффект проявляется в появлении в спектре прошедшего образец и отраженного от образца излучения стоксовой линии со смещением относительно линии возбуждающего излучения на величину от 0,17 до 14,5 см⁻¹, определяемую собственными частотами колебаний наночастиц, лежащими в гигагерцовом или терагерцовом диапазонах. Эффективность преобразования возбуждающего излучения в рассеянное достигает 27 %. Расходимость и ширина линии рассеянного света близки к соответствующим величинам возбуждающего излучения. Порог возникновения эффекта зависит от характеристик образца. На рис. 7 представлен спектр первой стоксовой компоненты ВНКР, возбуждаемой в суспензии наночастиц серебра.

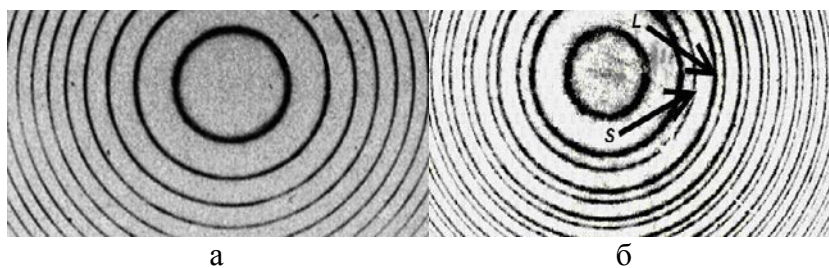


Рис. 7. Интерферограмма излучения ВНКР, возбуждаемого в суспензии наночастиц серебра: а) интенсивность накачки меньше порога возбуждения – кольца на интерферограмме соответствуют лазерному излучению б) интенсивность накачки превышает пороговое значение - две системы колец на интерферограмме соответствуют лазерному излучению и излучению первой стоксовой компоненты ВНКР.

Появление второй системы колец соответствует излучению ВНКР, причем частотные смещения стоксовой компоненты относительно частоты лазерного излучения для рассеяния вперед и назад совпадают.

В таблице 2 приведены максимальная эффективность преобразования (η), пороговое значение интенсивности (P), частотное смещение первой стоксовой компоненты (ν) и размер частицы (D) в суспензии, соответствующий максимальной концентрации наночастиц.

Таблица 2. Основные характеристики ВНКР света в исследованных суспензиях

Образец	η %	P ГВт/см^2	ν ГГц	D нм
ZnS	10	0,1	430	10
LaF ₃ (образец 1)	27	0,05	6,3	50
LaF ₃ (образец 2)	22	0,05	5,1	80
Au	19	0,09	435	7,1
Ag	20	0,1	330	9,9

При используемых интенсивностях лазерного излучения другие типы вынужденного рассеяния, прежде всего, вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) и вынужденное рассеяние Мандельштама - Бриллюэна (ВРМБ) в исследуемых суспензиях не возбуждались.

Все исследованные суспензии можно охарактеризовать размером наночастиц (D), которым соответствует максимальная концентрация. В случае несимметричного распределения наночастиц по размерам именно эта величина, а не среднее значение размера, определяет частотное смещение ВНКР. Рассматривая наночастицу как свободную упругую сферу [14], можно показать, что её осцилляции можно описать двумя типами мод – сфероидальными и торсионными. По правилам отбора для комбинационного рассеяния на наночастицах в спектрах могут проявляться только сфероидальные моды с четным угловым моментом (ℓ). Экспериментально в спектрах спонтанного низкочастотного рассеяния регистрируются моды со значениями углового момента $\ell = 0$ (сферическая) и с $\ell = 2$ (квадрупольная). Соответствующие частоты определяются следующими выражениями [5]:

$\nu_{\text{сф}} = \frac{\xi_c \nu_l}{D}$ и $\nu_{\text{кв}} = \frac{\xi_k \nu_t}{D}$, где ν_l , ν_t - значения продольной и поперечной скоростей звука в сплошной среде, ξ_c , ξ_k - константы, определяемые свойствами среды. (Значение этих констант близко к 1, поэтому часто для оценки значения частоты используют величину, равную отношению скорости звука к диаметру наночастицы). Наиболее точно сферической

форме соответствуют наночастицы металлов, прежде всего золота и серебра. Для золотых наночастиц значения этих констант составляют величины 0,94 и 0,845, а для серебряных наночастиц 0,902 и 0,83 соответственно. Для наночастиц, используемых в настоящих экспериментах, значения частот сферической моды составляют 439,4 ГГц и 332,6 ГГц для золота и серебра соответственно, что очень близко к экспериментально полученным величинам смещения первой стоксовой компоненты в суспензиях золотых и серебряных наночастиц (см. Таблицу 1). Проявление сферической моды и отсутствие квадрупольной моды в спектре вынужденного рассеяния хорошо согласуются с результатами экспериментов по исследованию спонтанного низкочастотного комбинационного рассеяния света.

Наночастицы ZnS, используемые в эксперименте, были модифицированы глицином, что позволяло избежать агрегации. По результатам, полученным методом динамического рассеяния света (DLS), распределение наночастиц по размерам сохранялось более суток с момента приготовления суспензии.

Экспериментально измеренное значение смещения частоты первой стоксовой компоненты ВНКР, возбуждаемого в суспензии наночастиц модифицированного ZnS, составило 430 ГГц. Для наночастиц ZnS, используемых в настоящих экспериментах, минимальное значение частоты сферической моды составляет 475,6 ГГц. Несовпадение значений частот обусловлено двумя основными причинами. Первая состоит в том, что окружающая наночастицы среда может существенно влиять на значение собственных акустических частот наночастицы даже в случае, когда величины продольной и поперечной скоростей звука, а также плотности наночастицы и окружающей её среды существенно отличаются [15, 16]. Вторая причина несовпадения измеренной и рассчитанной частот – это несовершенство сферической формы частиц. Отклонение формы наночастиц от сферической может приводить к нарушению правил отбора и появлению в спектре низкочастотного рассеяния частот, соответствующих торсионным колебаниям с нечетным угловым моментом [15].

Форма наночастиц LaF₃ существенно отличалась от сферической. Исследовались три образца суспензий наночастиц LaF₃, отличающиеся средним размером и формой распределения наночастиц по размерам. Третий образец (рис. 6 в.) имел в распределении два максимума в районе 250 и 1100 нм и в нем ВНКР не возбуждалось. Это связано с шириной распределения по размерам и наличием двух максимумов. Эффективная генерация первой стоксовой компоненты ВНКР наблюдалась в первом (рис. 6а.) и во втором (рис. 6б.) образцах.

Нелинейные эффекты в суспензии сульфида цинка

При возбуждении наносекундными импульсами рубинового лазера с плотностью мощности больше 40 МВт/см² в ZnS возникала интенсивная полоса люминесценции в синей области (рис. 8).

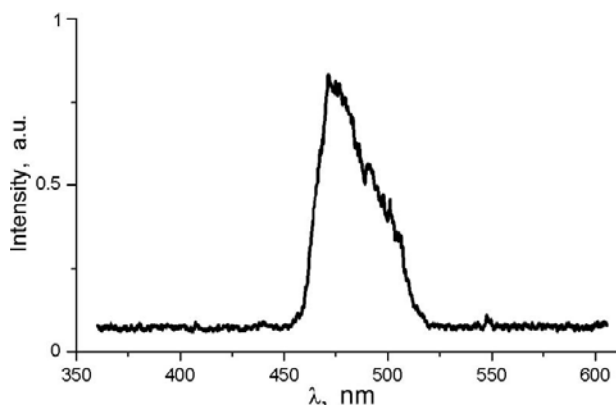


Рис. 8. Полоса люминесценции в водном растворе немодифицированного ZnS с концентрацией 10⁻⁴ М.

При тех же условиях в водном растворе ZnS происходило образование и затем схлопывание пузырьков и в результате этого процесса возникновение интенсивной ударной волны. Эти процессы регистрировались скоростной камерой с применением метода темного поля (см. рис.1). Излучение He-Ne лазера (17) проходило через кювету в направлении, перпендикулярном основной оси оптической системы. Объектив (18) строил изображение плоскости, расположенной внутри кюветы, на скоростной камере (20). В области фокуса объектива помещался непрозрачный экран (19), убирающий излучение He-Ne лазера, прошедшее через образец без изменения. Лучи, дифрагировавшие на фазовых неоднородностях среды, строили изображение этих неоднородностей (в данном случае – пузырьков и ударной волны) на приемном устройстве скоростной камеры. Изображение пузырьков в процессе их схлопывания показано на рис. 9.

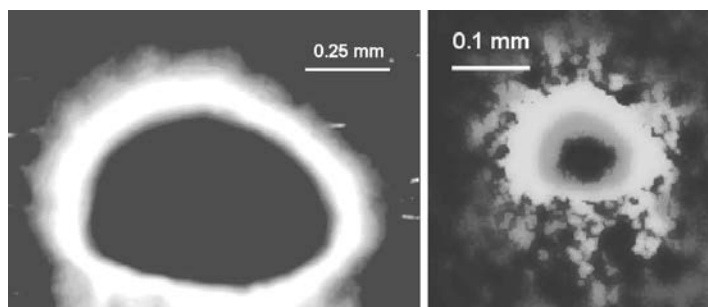


Рис. 9. Изображение промежуточной стадии схлопывания пузырьков, полученное с помощью метода темного поля. Плотность мощности лазерного излучения $40,2 \text{ МВт/см}^2$. Интервал между снимками $1/60 \text{ с}$.

Схлопывание пузырьков и образование интенсивной ударной волны могут приводить к возникновению деформаций кристаллической решетки сульфида цинка и образованию вакантных уровней, что является причиной наблюдаемой люминесценции.

Одновременно с возбуждением люминесценции в видимой области спектра и с образованием ударной волны при тех же условиях возбуждения в суспензии сульфида цинка наблюдалось направленное рентгеновское излучение. Пространственное распределение рентгеновского излучения регистрировалось на рентгеновской пленке, помещенной в специальную кассету фирмы Kodak. Пленка регистрировала рентгеновское излучение с энергий больше 10 Кэв. Кассета помещалась на расстоянии 2 – 7 см от выходного окна кюветы. Увеличение расстояния до кассеты с пленкой не приводило к изменению пространственного распределения излучения.

Направленное рентгеновское излучение наблюдалось в водной суспензии немодифицированного ZnS с концентрацией 10^{-4} М при возбуждении как наносекундными импульсами рубинового лазера, так и излучением лазера на парах меди. На рис. 10 показано пространственное распределение рентгеновского излучения в суспензии сульфида цинка.

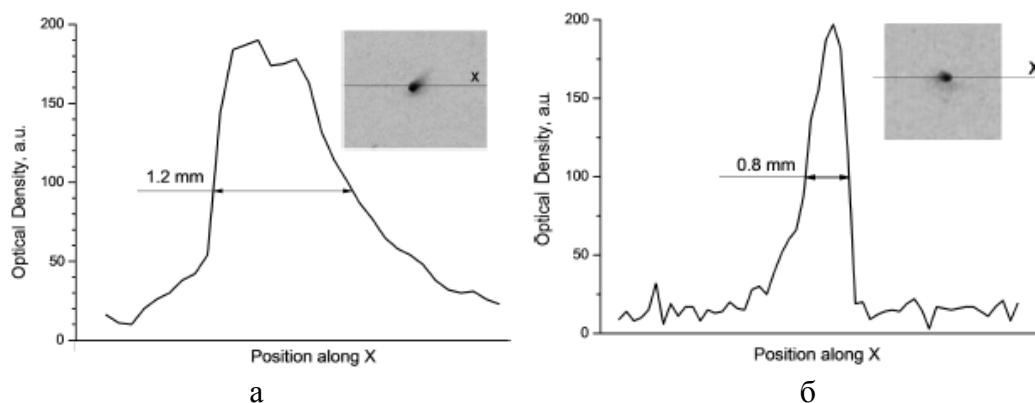


Рис. 10. Пространственное распределение рентгеновского излучения при возбуждении а – рубиновым лазером, б – лазером на парах меди.

Одной из возможных причин возникновения рентгеновского излучения в условиях эксперимента является взаимодействие наночастиц ZnS с фронтом ударной волны, приводящее к их ускорению до высоких скоростей (соизмеримых со скоростью звука в воде). Столкновение частиц может приводить к их механической деформации с последующим разрушением, что приводит к появлению свободных носителей заряда. Их ускорение в электрическом поле, возникающем в зазоре между фрагментами частиц, и дальнейшее торможение приводит к появлению рентгеновского излучения. Данный механизм аналогичен механизму возникновения триболюминесценции в твердых телах, в том числе и в ZnS. Вследствие того, что кристаллы сульфида цинка не являются центросимметричными, пьезоэлектрический эффект, обусловленный упругой деформацией, также может вносить вклад в образование локального электрического поля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты наших экспериментальных исследований показывают, что при определенных условиях в суспензиях наночастиц наблюдается вынужденное рассеяние, обусловленное взаимодействием лазерных импульсов с локализованными акустическими колебаниями наночастиц. Частоты компонент рассеянного света соответствуют собственным колебаниям наночастиц, лежащим в гигагерцовом и терагерцовом диапазоне. Высокий коэффициент преобразования накачки в рассеянное излучение свидетельствует об эффективном возбуждении акустических колебаний наночастиц. Изменяя состав образцов и размеры наночастиц можно варьировать в широких пределах частоты возбуждаемых колебаний. ВНКР может быть использовано для определения размеров, формы и природы наночастиц в различных образцах, а наносекундные времена дают возможность исследовать с помощью этого эффекта быстропротекающие процессы, в частности, турбулентные потоки наночастиц в аэрозолях.

БЛАГОДАРНОСТИ.

Авторы выражают благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований за финансовую поддержку (гранты РФФИ № 11-02-01269-а и 12-03-00396-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Duval E., Boukenter A. and Champagnon B.** Vibration eigenmodes and size of microcrystallites in glass: Observation by very-low-frequency Raman scattering // *Phys. Rev. Lett.* 1986. V. 56. P. 2052-2055.
2. **Tamura A., Higeta K., Ichinokawa T.** Lattice vibrations and specific heat of a small particle // *J. Phys. C.: Solid State Phys.* 1982. V. 15. P. 4975-4991.
3. **Werma P., Cordts W., Irmer G., and Monecke J.** Acoustic vibrations of semiconductor nanocrystals in doped glasses // *Phys. Rev. B.* 1999. V. 60. P. 5778-5785.
4. **Tanaka A., Onari S., and Arai T.** Low-frequency Raman scattering from CdS microcrystals embedded in a germanium dioxide glass matrix // *Phys. Rev. B.* 1993. V.47. P.1237-1243.
5. **Saviot L., Champagnon B., Duval E., Kudriavtsev I.A., and Ekimov A.I.** Size dependence of acoustic and optical vibrational modes of CdSe nanocrystals in glasses // *J. Non Cryst. Solids.* 1996. V. 197. P. 238-246.
6. **Быковский Ю.А., Манькин Э.А., Нахутин И.Е., Рубежный Ю.Г.** Комбинационное рассеяние света на колебаниях формы жидкой сферической частицы // *Квантовая электроника.* 1975. Т. 2. С. 1803-1806.
7. **Чернега Н.В., Кудрявцева А.Д.** Нелинейно-оптические свойства фотонных кристаллов // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования.* 2009. № 7. С. 23-29.

8. **Tcherniega N.V., Samoylovich M.I., Kudryavtseva A.D., Belyanin A.F., Pashchenko P.V., and Dzbanovski N.N.** Stimulated scattering caused by the interaction of light with morphology-dependent acoustic resonance // *Optics Letters*. 2010. V.35. Issue 3. P.300-302.
9. **Кудрявцева А.Д., Чернега Н.В.** Вынужденное низкочастотное комбинационное рассеяние в наноструктурированных средах – новый источник бигармонической накачки // *Оптические методы исследования потоков: 11 Межд. науч-технич. конференция [Электронный ресурс]: труды конференции. – Электрон. дан. – МЭИ (ТУ), 2011. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Доклад № 78. С. 1-12.*
10. **Burkhanov I.S., Chaikov L.L., Korobov Yu. A., Krivokhizha S.V., Kudryavtseva A.D., Savranskiy V.V., Shevchuk A.S., Tcherniega N.V.** Effective acousto-optical interactions in suspensions of nanodiamond particles // *Journal of Russian Laser Research*. 2012. № 5. P. 328-334.
11. **Tcherniega N.V., Zemskov K.I., Savranskii V.V., Kudryavtseva A.D., Olenin A.Yu., and Lisichkin G.V.** Experimental observation of stimulated low frequency Raman scattering in water suspensions of silver and gold nanoparticles // *Optics Letters*. 2013. V. 38. P. 824-826.
12. **Ehrlich H., Shcherba T., Zhilenko M. & Lisichkin G.** // *Materials Letters*. 2011. V. 65. P. 107-109.
13. **Vasil'eva S.Yu., Olenin A.Yu., Romanovskaya G.I., Pogonin V.I., Korotkov A.S., Zuev B.K., and Krutyakov Yu.A.** Adsorption preconcentration of pyrene by silver nanoparticles and its determination in aqueous solutions // *Journal of Analytical Chemistry*. 2009. V. 64. P. 1214-1220.
14. **Lamb H.** On the vibrations of an elastic sphere // *Proc. London Math Soc.* 1882. V. 13. 189-212.
15. **Овсюк Н.Н., Новиков В.Н.** Размерное квантование акустических фононов в микрокристаллах, окруженных упругой матрицей // *Письма в ЖЭТФ*. 1995. Т. 62. С. 624-629.
16. **Rufo S., Dutta M., and Strocio M.A.** Acoustic modes in free and embedded quantum dots // *J. Appl. Phys.* 2003. V. 93. P. 2900-2905.

A.D. Kudryavtseva¹, N.V. Tcherniega¹, K.I. Zemskov¹, V.V. Savranskii²,
M.P. Zhilenko³, G.V. Lisichkin³, H.V. Ehrlich³

¹*P.N.Lebedev Physical Institute of the RAS, Russia,*

119991, Moscow, Leninskii pr., 53, E-mail: akudr@sci.lebedev.ru

²*A.M. Prokhorov General Physics Institute of the RAS, Russia, 119991,*

Moscow, ul. Vavilova, 38, E-mail: savr@nsc.gpi.ru

³*M.V. Lomonosov Moscow State university, Russia, 119991,*

Moscow, Vorobyevy Gory, E-mail: h-ehrllich@yandex.ru

LASER EXCITATION OF GIGA- AND TERAHERTZ RANGE ACOUSTIC VIBRATIONS IN NANOPARTICLES SUSPENSIONS

Stimulated low-frequency Raman scattering in aqueous suspensions of different nanoparticles, appearing as a result of laser pulses interaction with nanoparticles acoustic vibrations, is realized. Frequency shifts of the scattered light components are defined by eigenfrequencies of nanoparticles, situated in gigahertz and near terahertz range. In zinc sulfide suspension directed X-ray emission has been observed under nanosecond laser pulses excitation.

EIGENFREQUENCIES, LASER, STIMULATED SCATTERING, NANOPARTICLES,
SUSPENSIONS