

Министерство образования и науки
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,
НАНОСТРУКТУР
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

выпуск 7

ТВЕРЬ 2015

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной физики
Тверского государственного технического университета

А.Н. Болотов

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики конденсированного
состояния Тверского государственного университета

Н.Н. Большакова

Рецензирование осуществляется на основании Положения об рецензировании статей и материалов для опубликования в Межвузовском сборнике научных трудов «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

Официальный сайт издания в сети Интернет:

www.physchemaspects.ru

Ф50 Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2015. – Вып. 7. – 588 с.

ISBN 978-5-7609-1071-4

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 7747789 от 13.12.2011

Сборник составлен из оригинальных статей теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Сборник предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

ISBN 978-5-7609-1071-4

ISSN 2226-4442

© Коллектив авторов, 2015

© Тверской государственной
университет, 2015

УДК 535.211

МЕТОД СВЕТОИНДУЦИРОВАННОЙ ПСЕВДО-ПРИЗМЫ В НАНОЖИДКОСТИ

В.И. Крылов, Г.Д. Иванова, В.К. Хе

ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения»
600021, Хабаровск, ул. Серышева, 47
tmeh@festu.khv.ru

Аннотация: Метод светоиндуцированной псевдо-призмы используется для исследования нелинейных сред и оптической диагностики материалов. В данной работе предлагается способ создания псевдо-призмы в нанодисперсной жидкофазной среде за счет светового давления опорного излучения. В результате аналитического решения задачи светоиндуцированного массопереноса получено выражение для угла отклонения луча в псевдо-призме.

Ключевые слова: метод псевдо-призмы, световое давление, наножидкости.

В прикладной оптике широко используются нелинейно-оптические методы диагностики материалов, основанные на различных механизмах светоиндуцированной модуляции оптических констант среды [1-3]. Наиболее известные методы (тепловая линза, динамическая голография) успешно применяются для исследования жидких наносuspензий [3-10]. В этих материалах существуют концентрационные механизмы оптической нелинейности, основанные на термодиффузионном [4-7] и электрострикционном [8-9] эффектах. Гораздо реже используется метод псевдо-призмы, в котором в качестве измеряемого сигнала используют угол отклонения сигнального луча в слое среды с градиентом показателя преломления (метод псевдо-призмы) [3]. В частности, термоиндуцированная псевдо-призма в наносuspензии использовалась для исследования термодиффузии наночастиц [10].

В данной работе впервые предлагается использовать светоиндуцированную псевдо-призму для диагностики наногетерогенной жидкофазной среды. При этом для создания призмы в прозрачной наносuspензии используются силы светового давления.

Целью данной работы является теоретический анализ отклонения луча в светоиндуцированной псевдо-призме.

Рассмотрим жидкофазную среду с наночастицами (дисперсная фаза), находящуюся под воздействием опорного лазерного излучения с равномерным профилем интенсивности I_0 (см. рис. 1). Под действием сил светового давления в кювете создается градиент концентрации частиц и, соответственно, показателя преломления. Сигнальный луч I_s распространяется перпендикулярно опорному и отклоняется в образованной псевдо-призме на угол θ_s .

Сила светового давления, действующая на наночастицу со стороны мощного опорного луча [8]:

$$F_p = AI_0, \quad (1)$$

где

$$A = \frac{128\pi^5 a^6 n_1}{3c_0 \lambda^4} \frac{m^2 - 1}{m^2 + 1}. \quad (2)$$

Здесь $m = n_2/n_1$, n_1, n_2 – показатели преломления веществ дисперсионной среды и дисперсной фазы соответственно, a – радиус частицы, λ – длина волны излучения, c_0 – скорость света.

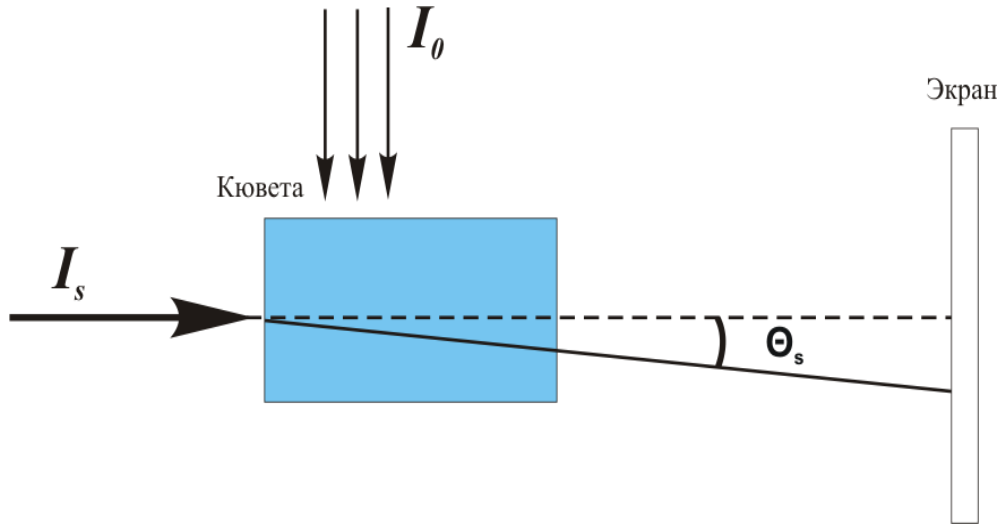


Рис. 1. Оптическая схема псевдо-призмы.

Балансное уравнение, описывающее динамику концентрации наночастиц в жидкофазной среде с учётом диффузии [8]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D\nabla^2 C - V\nabla C. \quad (3)$$

Здесь приняты следующие обозначения: $C(r, t)$ – объемная концентрация дисперсных частиц, D – коэффициент диффузии. Скорость частицы $V = \mu F_p$, где $\mu = (6\pi\eta a)^{-1}$ – коэффициент подвижности частиц, η – вязкость жидкости.

Решение одномерного уравнения (3) в приближении малых изменений концентрации дает:

$$C \approx C_0 \left\{ (Vl/D)z + (Vl/D) \sum_{k=1}^{\infty} 2 \cos(k\pi z/l) / k^2 \pi^2 \right\} \exp(-k^2 \pi^2 Dt / l^2), \quad (4)$$

где C_0 – начальная концентрация наночастиц, l – высота кюветы.

Из (4) получаем для градиента концентрации наночастиц:

$$\nabla C = (Vl/D) \left\{ 1 - \sum_{k=1}^{\infty} 2 \exp(-k^2 \pi^2 Dt / l^2) \sin(k\pi z/l) / k\pi l \right\}. \quad (5)$$

Для расчета угла отклонения луча в псевдо-призме используем выражение [10]:

$$g_s = (d/n)\nabla n, \quad (6)$$

где d – длина кюветы.

Для частиц с радиусом, много меньшим длины волны излучения π , показатель преломления среды пропорционален концентрации частиц [1]:

$$n = n_1(1 + \Phi\delta), \quad (7)$$

где $\delta = (n_2 - n_1)/n_1$, $\Phi = v_0 C$ – объемная доля дисперсной среды, $v_0 = (4/3)\pi a^3$ – объем одной наночастицы. Отсюда можно записать

$$\nabla n = n_1 \delta v_0 \nabla C. \quad (8)$$

Окончательно получаем для угла отклонения:

$$g_s(t) = (Vl\delta v_0 d / D) \left\{ 1 - \sum_{k=1}^{\infty} 2 \exp(-k^2 \pi^2 D t / l^2) \sin(k\pi z / l) / k\pi l \right\}. \quad (9)$$

Полученное в рамках данной модели выражение позволяет определять динамику изменения концентрации дисперсных наночастиц, что значительно расширяет возможности метода. Предложенная схема светоиндуцированной псевдо-призмы не требует наличия поглощения среды и поэтому свободна от обычно мешающего влияния тепловой конвекции [12-14].

Таким образом, в работе получено выражение для временной зависимости угла отклонения луча в светоиндуцированной псевдо-призме в прозрачной дисперсной среде (наножидкости). Полученные в данной работе результаты актуальны для нелинейной оптики дисперсных жидкофазных сред [11-15], а также для оптической диагностики таких сред [2-8].

Библиографический список:

1. **Иванов, В.И.** Термоиндуцированные механизмы записи динамических голограмм: монография / В.И. Иванов. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – 142 с.
2. **Иванов, В.И.** Термолинзовая спектроскопия двухкомпонентных жидкофазных сред / В.И. Иванов, Г.Д. Иванова, В.К. Хе // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2011. – № 4. – С. 39-44.
3. **Гришко, В.И.** Лазерная аналитическая термооптическая спектрометрия / В.И. Гришко, В.П. Гришко, И.Г. Юделевич. – Новосибирск: ИХ СО РАН, 1992. – 322 с.
4. **Иванов, В.И.** Динамика светоиндуцированной тепловой линзы в жидкофазной двухкомпонентной среде / В.И. Иванов, А.А. Кузин, А.И. Ливашвили, В.К. Хе // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. – 2011. – Т. 4. – № 134. – С. 44-46.

5. **Иванов, В.И.** Термодиффузионный механизм изменения оптического пропускания двухкомпонентной среды / В.И. Иванов, А.И. Ливашвили, К.Н. Окишев // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2008. – Т. 51. – № 3. – С. 50-53.
6. **Окишев, К.Н.** Термодиффузионный механизм нелинейного поглощения суспензии наночастиц / К.Н. Окишев, В.И. Иванов, С.В. Климентьев, А.А. Кузин, А.И. Ливашвили // Оптика атмосферы и океана. – 2010. – Т. 23. – № 2. – С. 106-107.
7. **Иванов, В.И.** Влияние термодиффузии на термолинзовый отклик жидкофазной дисперсной / В.И. Иванов, Г.Д. Иванова, В.К. Хе // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2013. – Вып. 5. – С. 112-115.
8. **Иванова, Г.Д.** Динамические голограммы в наносуспензии / Г.Д. Иванова, С.И. Кирюшина, А.В. Мяготин // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2014. – Вып. 6. – С. 122-125.
9. **Иванов, В.И.** Электрострикционный механизм самовоздействия излучения в жидкости с наночастицами / В.И. Иванов, А.И. Ливашвили, К.Н. Окишев // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия «Физика». – 2009. – Т. 4. – № 2. – С. 58-60.
10. **Buzzaccaro, S.** Kinetics of sedimentation in colloidal suspensions / S. Buzzaccaro, A. Tripodi, R. Rusconi, D. Vigolo, R. Piazza // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2008. – V. 20. – № 49. – P. 494219-1-494219-9.
11. **Иванов, В.И.** Самовоздействие гауссова пучка излучения в слое жидкофазной микрогетерогенной среды / В.И. Иванов, А.И. Ливашвили // Оптика атмосферы и океана. – 2009. – Т. 22. – № 8. – С. 751-752.
12. **Иванов, В.И.** Самовоздействие гауссова пучка в жидкофазной микрогетерогенной среде / В.И. Иванов, Ю.М. Карпец, А.И. Ливашвили, К.Н. Окишев // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 5. – С. 23-24.
13. **Piazza, R.** Thermophoresis in colloidal suspensions / R. Piazza, A. Parola // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2008. – V. 20. – № 15. – P.153102-153120.
14. **Иванов, В.И.** Эффект Дюфура в дисперсной жидкофазной среде в поле гауссова пучка / В.И. Иванов, А.И. Ливашвили // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2013. – Вып.5. – С. 116-119.
15. **Иванов, В.И.** Оптическая левитация наночастиц: монография / В.И. Иванов, А.А. Кузин, К.Н. Окишев. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008. – 105 с.