

ОТЗЫВ

официального оппонента Прудковского П.А. на диссертацию Бурханова Ильи Сергеевича «Исследование нелинейного характера рассеяния света на частицах латекса и алмаза в водных суспензиях», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

Диссертационная работа Бурханова И.С. посвящена экспериментальному обнаружению и исследованию вынужденного рассеяния света на флуктуациях концентрации частиц, взвешенных в жидкости. Работа состоит из введения, трех глав, заключения, приложения и списка литературы, по материалам диссертации опубликовано 5 работ в журналах из списка ВАК. Во введении обосновывается актуальность и новизна работы. Действительно, хотя у любого типа спонтанного рассеяния света возможен вынужденный аналог, вынужденное рассеяние на флуктуациях концентрации рассеивающей среды до сих пор было обнаружено только для бинарных растворов. Автор объясняет, что из-за того, что рассеяние на флуктуациях концентрации частиц, взвешенных в жидкости, приводит к существенно меньшим сдвигам частот, его обнаружение методами классической спектроскопии нереально. Таким образом, заслугой автора является как обнаружение впервые вынужденного концентрационного рассеяния на взвеси частиц, так и использование для этого подходящих методов измерения - методов корреляционной спектроскопии.

Первая глава представляет собой подробный литературный обзор различных видов спонтанного и вынужденного рассеяния, сравнение их характерных частот, а также описание механизма возникновения вынужденного рассеяния на флуктуациях концентрации взвешенных в жидкости субмикронных частиц и оценка знака и величины характерных для него частотных сдвигов. Для словесного объяснения происходящих при вынужденном концентрационном рассеянии процессов автор использует образ формирующейся объемной дифракционной решетки концентрации частиц, дифракция света на которой приводит к самосогласованному усилению как

амплитуды решетки, так и дифрагирующей на ней световой волны. Хотя частотная полоса спонтанного рассеяния на флуктуациях концентрации частиц не сдвинута относительно частоты накачки, условие усиления амплитуды объемной решетки требует фазового сдвига, что означает, что объемная решетка должна быть бегущей волной, а полоса спектра вынужденного концентрационного рассеяния - немного сдвинутой относительно частоты накачки.

Вторая глава посвящена методике измерения и теоретическому описанию ожидаемых в эксперименте зависимостей. Автор использует несколько различных схем для измерения корреляционной функции интенсивности рассеянного света, которая, как и в методе динамического светорассеяния, несет информацию о движении частиц в жидкости. До тех пор, пока средняя частота рассеянного света совпадает с частотой накачки, корреляционная функция интенсивности имеет монотонно спадающий вид, характерное время спадания при этом несет информацию о коэффициенте диффузии частиц. Однако в случае сдвига частоты рассеянного света в корреляционной функции интенсивности возникает осциллирующая компонента, что и является для автора диссертации первым признаком возникновения вынужденного концентрационного рассеяния света. Вторым признаком вынужденного рассеяния является нелинейная зависимость его амплитуды, т.е. величины осциллирующей компоненты от интенсивности накачки.

Отдельного внимания заслуживает схема, позволяющая измерять корреляционную функцию интенсивности рассеянного света при наличии конвективного потока жидкости. Эта дополнительная экспериментальная сложность была не только успешно решена автором, но и использована для определения знака частотного сдвига рассеянного света. Далее автор получает теоретические формулы для вида ожидаемой в эксперименте корреляционной функции интенсивности рассеянного света в присутствии гомодинирующего опорного пучка и в предположении (полностью оправданном в данном случае) о гауссовом характере рассеивающей среды. Наконец, автор приводит теоретические оценки коэффициента усиления для вынужденного рассеяния, с

которыми в следующей главе будут сравниваться экспериментальные значения.

В третьей главе приведены результаты экспериментального исследования вынужденного концентрационного рассеяния. Для своих исследований автор использовал три типа частиц, однако вынужденное рассеяние удалось зарегистрировать для двух из них: вид корреляционных функций интенсивности рассеянного на взвеси кремниевых частиц света из-за сильного поглощения кремния оказался малоинформативен. Зато при рассеянии света на взвесях наночастиц алмаза и латекса автором были получены корреляционные функции интенсивности рассеянного света с хорошо выраженной осциллирующей компонентой, амплитуда которой нелинейным образом зависела от интенсивности накачки, что является достаточно убедительным доказательством того, что в работе действительно наблюдалось вынужденное рассеяние на флуктуациях концентрации частиц.

Большая часть экспериментальных результатов была получена при рассеянии на взвеси частиц латекса в жидкости, в которой в данном случае возникает конвективный поток. Измерение корреляционной функции интенсивности не только для вынужденного рассеяния, но и для рассеяния двух слабых скрещенных пучков света Не-Не лазера позволило учесть допплеровский сдвиг частоты рассеянного света и использовать его для определения знака частотного сдвига при вынужденном рассеянии, который зависит от размера частиц латекса. Наконец, для подтверждения полученных результатов автором было получено вынужденное рассеяние на концентрации частиц в схеме с поперечным резонатором, аналогичной классическим схемам для наблюдения других типов вынужденного рассеяния. Полученный в такой схеме характерный сдвиг частоты вынужденного рассеяния также хорошо соответствует теоретической оценке.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений - автор достаточно тщательно провел и описал все экспериментальные процедуры и постарался учесть различные паразитные эффекты, которые могли бы исказить результаты измерений. Результаты диссертационной работы имеют

как фундаментальное, так и прикладное значение - с одной стороны, зафиксирован новый ранее не наблюдавшийся вид вынужденного рассеяния, с другой стороны, показано, что подобное рассеяние может вносить помехи в стандартные методы измерения размеров частиц при помощи метода динамического светорассеяния.

Экспериментальная часть работы выполнена весьма тщательно, а вот теоретические рассмотрения автора более поверхностны и нуждаются в некоторых замечаниях:

1. В разделе 2.10 автор пытается доказать, что бегущая волна концентрации частиц не оказывает влияния на результат измерения скорости конвективного потока. Однако усреднение величины $\cos(\alpha t \cos \Omega t)$ по времени t не является фиксированной величиной, как утверждает автор, а зависит от τ как функция Бесселя нулевого порядка. Эта зависимость при малых α (как оно, по-видимому, было в эксперименте) достаточно медленная и поэтому существенно не влияет на результаты измерений, однако вывод автора в данном разделе излишне категоричен.

2. В разделе 2.12 в процессе вывода формулы для вида корреляционной функции интенсивности рассеянного света автор неявно предполагает, что излучение гомодинирующего пучка имеет тепловую статистику, тогда как он возникает как отражение лазерной накачки от неподвижных объектов - т.е. является когерентным и не флуктуирует. Из-за этого в формуле 2.12.6, полученной автором, возникают неверные коэффициенты. Впрочем, в дальнейшем автор пренебрегает частью членов и использует для сравнения с экспериментом получившуюся в итоге феноменологическую формулу, поэтому на сравнение теории с экспериментом допущенная ошибка не повлияла.

Таким образом, допущенные автором небольшие ошибки не умаляют основные результаты диссертационной работы.

На основании вышесказанного считаю, что диссертационная работа «Исследование нелинейного характера рассеяния света на частицах латекса и

алмаза в водных суспензиях» удовлетворяет требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам Бурханов Илья Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

Официальный оппонент:

кандидат физ.-мат. наук Прудковский Павел Андреевич,
доцент физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ);
адрес: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ имени М.В.Ломоносова, д.1, с.2, физический факультет;
тел: +7(495)939-4372; e-mail: vysogota@gmail.com

/ Прудковский Павел Андреевич /

22.09.2017

Декан физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова
профессор



Список основных научных публикаций доцента физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ) кандидата физико-математических наук Прудковского Павла Андреевича по теме диссертации Бурханова Ильи Сергеевича «Исследование нелинейного характера рассеяния света на частицах латекса и алмаза в водных суспензиях», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

1. П.А. Прудковский, Исследование кинетики доменных структур в тонких ферромагнитных пленках методом Ванга–Ландау // Письма в "Журнал экспериментальной и теоретической физики". — 2013. — Т. 98, № 2. — С. 125–130.
2. V.V. Kornienko, R.A. Akhmedzhanov, I.E. Ilyakov et al., Scattering effects in terahertz wave spectroscopy of granulated solids // IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology. — 2015. — Vol. 5, № 7. — P. 665–672.
3. П.А. Прудковский, К.А. Брехов, К.А. Гришуний и др. Фотоиндуцированные решетки в сегнетоэлектрическом кристалле $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ с зависящим от интенсивности оптической накачки периодом / // Письма в "Журнал экспериментальной и теоретической физики". — 2017. — Т. 105, № 3. — С. 142–147.