

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института теоретической
физики им. Л.Д. Ландау РАН
чл.-корр. РАН

Лебедев В.В.

15.06.



ВЫПИСКА

из протокола заседания Сектора физики неравновесных состояний
Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН.

Заключение о диссертации Парфеньева В.М.

«Нелинейные явления в плазмоне и гидродинамике: теория спазера и генерация
завихренности поверхностными волнами» по месту ее выполнения.

СЛУШАЛИ: Доклад Парфеньева В.М. по диссертации «Нелинейные явления в плазмоне и гидродинамике: теория спазера и генерация завихренности поверхностными волнами», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

ПОСТАНОВИЛИ: Принять следующее заключение о диссертации Парфеньева В.М. «Нелинейные явления в плазмоне и гидродинамике: теория спазера и генерация завихренности поверхностными волнами».

В диссертационной работе Парфеньева В.М. изучается ряд нелинейных явлений из области плазмоники и гидродинамики.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка публикаций автора по теме диссертации, списка литературы и четырех приложений; содержит 110 страниц, 16 рисунков и 82 пункта цитированной литературы.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы основные цели исследования, аргументирована научная новизна, кратко перечислены основные результаты работы и показана их теоретическая и практическая значимость.

В первой главе исследуется частота генерации плазмонного нанолазера (спазера) в зависимости от интенсивности внешней накачки. Показано, что вследствие низкой добротности плазмонного резонатора происходит деформация структуры лазерующей моды из-за неоднородного истощения активной среды при увеличении интенсивности накачки, что в конечном счете приводит к изменению частоты

генерации спазера. Разработана аналитическая схема, которая позволяет количественно вычислять величину описанного изменения частоты.

Во второй главе рассматриваются тепловые и прочностные явления в плазмонике. Была исследована температура металлической наночастицы в зависимости от числа возбужденных в ней квантов плазмонных колебаний. Показано, что в стационарном режиме существует критическое число квантов, при котором температура системы достигает температуры плавления металла. Эффект обусловлен положительной обратной связью: нагрев происходит вследствие омических потерь, которые возрастают с увеличением температуры системы. Получено аналитическое выражение для критического числа квантов. Отмечено, что для спазера, рассмотренного в первой главе, критическое число плазмонов составляет порядка единицы, что свидетельствует о необходимости пересмотра общепринятого механизма сужения спектральной линии устройства при переходе через порог генерации (поскольку вынужденное излучение не может доминировать в таких условиях). В импульсном режиме возбуждения системы обсуждаемое ограничение на допустимое число квантов удается преодолеть. Для этой ситуации получена оценка для числа возбужденных плазмонов, при котором начинается деформация наногранулы пондеромоторными силами.

Третья глава посвящена построению квантовой теории спазера в предположении низкодобротного резонатора и анализу механизма сужения спектральной линии. Найдено среднее число квантов в резонаторе выше и ниже порога генерации, проанализирована статистика излучения, получены явные выражения для корреляционных функций электрического поля первого и второго порядков. Показано, что активная среда играет существенную роль в механизме сужения спектральной линии: активные молекулы релаксируют гораздо медленнее, чем происходит затухание плазмонов, и поэтому в их состоянии возможно сохранение информации о когерентности системы.

В четвертой главе исследуется явление генерации вихревых течений вблизи поверхности жидкости вследствие взаимодействия поверхностных волн. Было получено явное выражение для вертикальной компоненты завихренности в терминах отклонения поверхности жидкости от равновесия. Показано, что вязкость жидкости играет ключевую роль в механизме генерации вихрей, несмотря на то, что она не входит в конечный ответ для завихренности – новый пример вязкой аномалии в гидродинамике.

В пятой главе исследуется вихревое движение в тонких свободно подвешенных смектических пленках, которые совершают колебания в поперечном направлении (изгибная мода). Получено аналитическое выражение для скорости вихревого движения в плоскости пленки в терминах отклонения поверхности пленки от равновесия. Были проанализированы пленки, находящиеся в вакууме и в воздухе. Показано, что окружающий воздух существенно влияет на изучаемое явление, в частности, он изменяет закон дисперсии поперечных колебаний, для которого было получено явное выражение.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы работы.

Основные результаты диссертации были изложены в 8 работах (из них 3 в материалах конференций):

- [1] Parfenyev V., Vergeles S. "Intensity-dependent frequency shift in surface plasmon amplification by stimulated emission of radiation", Phys. Rev. A 86, 043824 (2012).
- [2] Fedorov I., Parfenyev V., Vergeles S. et al. "Allowable number of plasmons in nanoparticle", JETP Letters 100, 530–534 (2014).
- [3] Parfenyev V., Vergeles S. "Quantum theory of a spaser-based nanolaser", Optics Express 22, 13671–13679 (2014).
- [4] Filatov S., Parfenyev V., Vergeles S. et al. "Nonlinear Generation of Vorticity by Surface Waves", Phys. Rev. Lett. 116, 054501 (2016).
- [5] Parfenyev V., Vergeles S., Lebedev V. "Nonlinear generation of vorticity in thin smectic films", Pis'ma v ZhETF 103, 220–224 (2016).
- [6] Parfenyev V., Vergeles S. "Spaser in above-threshold regime: The lasing frequency shift", Proc. Intern. Conf. Days on Diffraction 2012.
- [7] Sarychev A., Fyodorov I., Parfenyev V. et al. "Thermal instability in plasmonics", SPIE/COS Photonics Asia, 927806 (2014).
- [8] Sarychev A., Tartakovsky G., Vergeles S., Parfenyev V. "Thermal phenomena in quantum plasmonics", SPIE Nanoscience+Engineering, 95470A (2015).

Результаты диссертации были представлены автором на международных и всероссийских конференциях: "Landau Days 2015" (Черноголовка, 2015), "Days on Diffraction 2014" (Санкт-Петербург, 2014), "VI Всероссийский семинар по волоконным лазерам" (Новосибирск, 2014), "Days on Diffraction 2012" (Санкт-Петербург, 2012), а также на научных семинарах в ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН, ИАиЭ СО РАН (г. Новосибирск) и Лос-Аламосской национальной исследовательской лаборатории (США).

Опубликованные по теме диссертации работы в достаточной мере отражают ее содержание. Объем и уровень проведенного исследования, а также новизна и актуальность полученных результатов, свидетельствуют о том, что диссертация Парфеньева В.М. удовлетворяет всем требованиям ВАК, а ее автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук.

На основании вышеизложенного Сектор физики неравновесных состояний ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН рекомендует диссертацию Парфеньева В.М. «Нелинейные явления в плазмонике и гидродинамике: теория спазера и генерация завихренности поверхностными волнами» к публичной защите по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Зав. сектора
«физики неравновесных состояний»
ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН
д. ф.-м. н.

Колоколов И. В. «Б» 06 2016 г.

