

## Название организации, род деятельности:

- Название организации: Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН, Черноголовка, Московская область
- Род деятельности: физик-теоретик: электродинамика, квантовая оптика, оптоволокно, наноплазмоника

## ФИО и e-mail адрес:

Вергелес Сергей Сергеевич, [vergeles@gmail.com](mailto:vergeles@gmail.com)

## Описание работы:

### ● В состав коллектива входят:

- Вергелес Сергей Сергеевич (ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН, Московский физико-технический институт (ГУ), проводит вычисления на кластере)
- Белан Сергей Александрович, аспирант (Московский физико-технический институт (ГУ), ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН, соавтор работ, не выполняет непосредственно работы на кластере),
- Парфеньев Владимир Михайлович, аспирант, (ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН, Московский физико-технический институт (ГУ), соавтор работ, не выполняет непосредственно работы на кластере),
- Сарычев Андрей Карлович, д.ф.-м.н., (ИТПЭ РАН, Московский физико-технический институт (ГУ), соавтор работ, не выполняет непосредственно работы на кластере)
- Ефремова Екатерина Александровна, к.ф.-м.н. (СпбГУ, Физфак, имеет свой аккаунт на кластере)

### ● Постановка задачи (что именно должно быть сделано, какие результаты должны быть получены):

**Работа 1.** Оптимизация параметров головки волновода с целью получить локализацию электромагнитной волны на масштабе одной ферро-магнитной гранулы на поверхности жесткого диска

**Работа 2.** Исследование дифракции световой волны на периодических метал-диэлектрических структурах со сложным периодом

### ● Современное состояние проблемы, с ссылками на источники, предпочтительно доступные в сети Интернет (существующие работы, ваши или других коллективов, на которые вы будете опираться).

**Работа 1.** Большинство работ, связанных с темой локализации световой волны на суб-волновом масштабе, предполагают использование металлических частиц для фокусировки электромагнитной волны. Тем не менее, этот способ может быть неприемлем в силу больших омических потерь в металлических гранулах, вызывающих большое выделение тепла в малых объемах. В работах [1-3] рассматривается возможность фокусировать свет с помощью волновода, выполненного только из прозрачного диэлектрика. Тем не менее, в этих работах

результат оказывается не очень сильным: не удаётся сфокусировать свет до расстояний, заметно меньших длины волны.

[1] Kato, S., Chonan, S., & Aoki, T. (2014). High-numerical-aperture micro-lensed tip on an air-clad optical fiber. *Optics Letters*, 39(4), 773.

[2] Rogers, E. T. F., & Zheludev, N. I. (2013). Optical super-oscillations: sub-wavelength light focusing and super-resolution imaging. *Journal of Optics*, 15(9), 094008.

[3] Wiederhecker, G. S., Cordeiro, C. M. B., Couny, F., Benabid, F., Maier, S. A., Knight, J. C., Cruz, C. H. B. and Fragnito, H. L. (2007) Field enhancement within an optical fibre with a subwavelength air core. *Nature Photonics*, 1(2), 115–118.

**Работа 2.** В недавних работах [4,5] было продемонстрировано численным моделированием и экспериментальной проверкой возможность создания тонких структурированных плёнок из оптически плотного диэлектрика, которые изменяют направление прошедшей через них плоской волны. Принцип действия таких плёнок основан на законах дифракции: на периодической решётке плоская волна расщепляется на несколько волн, соответствующих главным дифракционным максимумам; если же сделать так, что элементарные периоды дифракционной решётки излучают неизотропно, то возможно подавить все главные максимумы кроме одного. Результатом и будет «поворот света» при прохождении через плёнку. Толщина которой меньше длины волны. В работах [6,7] этот же эффект был продемонстрирован на периодических металл-диэлектрических пленках. В данном случае плёнки имели значительно меньшую толщину относительно длины волны, поскольку сильный отклик элементарного периода дифракционной решётки достигался за счёт возбуждения поверхностного плазмонного резонанса на металлических гранулах плёнки. Следует отметить, что эти гранулы находились на большом расстоянии друг от друга, так что в главном приближении плазмонные резонансы на каждой грануле можно считать независимыми друг от друга.

Плёнки с описанными оптическими свойствами представляют интерес с точки зрения проектирования оптических устройств микро-размеров, поскольку они позволяют манипулировать направлением светового луча, имея при этом суб-микронные размеры. Однако все вышеописанные плёнки не позволяют динамически изменять свои свойства с тем, чтобы угол отклонения направления распространения светового луча мог изменяться и контролироваться внешним воздействием. Эта возможность значительно повысит ценность таких световых манипуляторов.

В работе [8] мы показали, что плотноупакованные металл-диэлектрические решётки имеют особенности в характеристиках пропускания и отражения, узкие в частотном диапазоне. Мы планируем изучить свойства таких решёток в качестве манипуляторов направлением распространения светового луча. Далее мы рассчитываем, что в силу сильного отклика характеристик пропускания такой решётки по отношению к материальным параметрам, нам удастся предложить способ через внешнее воздействие динамически изменять параметры пропускания таких решёток.

[4] Aimin Wu, Hao Li, Junjie Du, Xingjie Ni, Ziliang Ye, Yuan Wang, Zhen Sheng, Shichang Zou, Fuwan Gan, Xiang Zhang, and Xi Wang (2015) Experimental Demonstration of In-Plane Negative-Angle Refraction with an Array of Silicon Nanoposts. *Nanoletters* 15, p. 2055.

[5] Junjie Du, Zhifang Lin, S.T. Chui, Wanli Lu, Hao Li, Aimin Wu, Zhen Sheng, Jian Zi, Xi Wang, Shichang Zou, and Fuwan Gan. (2011) "Optical Beam Steering Based on the Symmetry of Resonant Modes of Nanoparticles", *Physical Review Letters* 106, 203903

[6] Nanfang Yu, P. Genevet, M.A. Kats<sup>1</sup>, F. Aieta, J.-Ph. Tetienne, F. Capasso, Z. Gaburro. (2011) Light Propagation with Phase Discontinuities: Generalized Laws of Reflection and Refraction. *Science* 334, 333.

[7] Xingjie Ni, N.K. Emani, A.V. Kildishev, A. Boltasseva, V.M. Shalaev. (2012) Broadband Light Bending with Plasmonic Nanoantennas. *Science* 335, p. 427.

[8] A. Ivanov, A. Shalygin, V. Lebedev, P. Vorobev, S. Vergeles, A.K. Sarychev, (2012) Plasmonic extraordinary transmittance in array of metal nanorods, *Appl. Phys. A* 107(1), 17-21.

- **Научная новизна, практическая значимость работы** (для чего она выполняется, в чём смысл и практическая / потенциальная польза).

**Работа 1.** В нашем проекте мы разработали концепцию волновода со специальным наконечником, полностью выполненным из прозрачного диэлектрика, позволяющего концентрировать свет на малых расстояниях. Это имеет практический интерес для процесса записи на жёстких дисках при сопровождении теплового нагрева ферромагнитных гранул, см. [11],

[9] Kryder, M. H., Gage, E. C., McDaniel, T. W., Challenger, W. A., Rottmayer, R. E., Hsia, Y.-T., Erden, M. F. (2008). Heat assisted magnetic recording. *Proceedings of the IEEE*, 96(11), 1810.

**Работа 2.** Я сотрудничаю с научной группой из Санкт-Петербурга, которая поставила своей целью освоить фабрикации и исследовать преломляющие свойства периодических метал-диэлектрических структур со сложным периодом. Этой группой была выпущена работа [10], Эти работы производятся по следам пионерский работ, см. например [11,12]. Цель этой научной группы состоит в том освоить эту технологию в России, вместе с чем придёт способность оптимизировать преломляющие параметры этих структурированных плёнок для наперёд заданных режимов работы.

[10] Балабас М.В., Ефремова Е.А., Иванов А.Ю., Канцеров А.И., Крылов И.Р., Пелюхова Е.Б., Петров Ю.В., Прохорова У.В., Силаев Р.В., Третьяк О.Ю., Шимко А.А., Экспериментальное исследование углового и частотного спектров дифракции лазерного импульса на плоской периодической наноструктуре из золотых V-антенн. *Квантовая электроника*. 2015. Т. 45. № 10. С. 914-916.

[11] Yu, N., & Capasso, F. (2014). Flat optics with designer metasurfaces. *Nature materials*, 13(2), 139-150.

[12] Meinzer, N., Barnes, W. L., & Hooper, I. R. (2014). Plasmonic meta-atoms and metasurfaces. *Nature Photonics*, 8(12), 889-898.

- **В чём заключается необходимость использования комплекса ИВЦ** (доступ к лицензиям / ПО, вычислительные ресурсы, другое...)

Необходимость заключается в том, что трёх-мерный расчёт распространения электромагнитной волны требует большого объёма оперативной памяти, который недоступен на обычном РС

- **Полученные результаты.**

**Работа 1.** Проведена оптимизация форма волновода и его оконечника с целью суб-волновой концентрации световой волны. В том числе, проведён численный счёт, в котором учитывается существование подложки, структура которой была взята близкой к структуре подложки жёсткого диска. Было показано, что такая подложка имеет сильный отклик на электромагнитное поле, так что её существование сильно изменяет распределение электромагнитного поля. Была проведена дополнительная оптимизация с учётом этого влияния.

**Работа 2.** На прошлом этапе мы рассматривали аномальное преломление и отражение световой волны от периодической системы цилиндров со сложным периодом. Результат были опубликованы в работе [13].

## Эффект от использования кластера в достижении целей работы.

**Работа 1.** В процессе оптимизации оконечника волновода, концентрирующего световую волну на суб-волновом масштабе, мы уже достигли желаемых результатов, в частности, благодаря результатам численного счёта, выполненного на расчётном кластере НГУ. В настоящий момент производится Работа по подготовке публикации, для чего могут понадобиться некоторые дополнительные расчёты.

**Работа 2.** Была опубликована работа [13].

## Перечень публикаций, содержащих результаты работы (если есть). Указать импакт-фактор журнала (Thomson Reuters, РИНЦ,...).

[13] Sergey Belan, Vladimir Parfenyev, and Sergey S. Vergeles. “Negative-angle refraction and reflection of visible light with a planar array of silver dimers”, Optical Materials Express, vol. 5, p. 2843 (2015) Impact factor 2.844. Благодарность новосибирскому вычислительному кластеру имеется.

## Необходимое программное обеспечение:

COMSOL

## Продление доступа.

Прошу продлить мне доступ к счётным ресурсам кластера ещё на два года, до 31 мая 2018 года.