

Отзыв научного руководителя

на диссертационную работу Фримана Александра Владимировича
«Численное моделирование статических и динамических характеристик фотонных кристаллов и волноводных структур с резонансами Фано», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. - Оптика

Фриман Александр Владимирович окончил бакалавриат (2009), а затем и магистратуру (2011) Московского Института Электронной Техники (Национальный исследовательский университет, МИЭТ). С 2011 по 2014 годы проходил обучение в аспирантуре ФИАН под моим научным руководством. С 2011 года начал работу в ФИАНе в должности стажера-исследователя. В настоящее время является высококвалифицированным младшим научным сотрудником Отделения физики твердого тела ФИАН.

Диссертационная работа Александра Владимировича Фримана посвящена развитию численных методов моделирования распространения света в интегральных оптических структурах, а также исследованию на этой основе физических эффектов, представляющих особый интерес с точки зрения создания перспективных оптических устройств для обработки и преобразования информации, в частности - фотонных интегральных схем. Из всего огромного многообразия оптических структур автор остановился на исследовании фотонных кристаллов и волноводов со сложной геометрией, в которых им были изучены процессы формирования состояний с малой групповой скоростью, сверхкоротких импульсов света на основе резонансов Фано, а также связанных состояний в континууме. Все три перечисленные группы физических явлений представляют значительный фундаментальный и практический интерес и находятся в центре внимания физического сообщества. Успехи в развитии технологий интегральной оптики позволили перейти от чисто теоретического изучения интересных физических явлений к их практическому воплощению, что, в свою очередь, предъявляет повышенные требования к уровню (скорости и точности) предсказательного моделирования структур, обеспечивающего возможность реализации исследуемых эффектов при заданных параметрах сигнала на базе конкретных технологических платформ. Подобные требования предполагают использование не только адекватных физических моделей, но и значительных вычислительных ресурсов. Совокупность отмеченных факторов делает диссертационную работу А.В. Фримана очень актуальной.

В зависимости от уровня сложности решаемой задачи в процессе работы А.В. Фримана использован широкий спектр вычислительных методов и подходов. Во второй главе диссертации при описании слабодисперсных зон используется качественная одномерная модель закона дисперсии двумерного фотонного кристалла, а исследование возможности увеличения ширины запрещенной зоны за счет изменения геометрических параметров выполнено на основе

численного решения стационарных уравнений Максвелла методом разложения по плоским волнам (PWE). В третьей главе диссертации моделирование резонансов Фано и связанных состояний в континууме в сложных волноводах в стационарном приближении проведено на основе усовершенствованного метода разделения переменных. Все динамические расчеты в диссертации выполнены с помощью метода конечных разностей во временной области (FDTD), а для построения качественной картины явлений использован аналитический метод (теория) связанных мод (CMT). При этом большинство положений, выносимых на защиту, получено с помощью именно наиболее информативного и трудоемкого метода FDTD.

Разнообразие использованных методов и исследуемых объектов позволило получить ряд интересных результатов. Среди них на первое место можно поставить предложенный А.В.Фриманом оригинальный механизм формирования коротких (субпикосекундных) оптических импульсов за счет процесса временного установления резонанса Фано. В основе этого механизма лежит тонкое наблюдение, что, аналогично обычному резонансу, требующему для достижения своего максимального значения прозрачности некоторое время, необходимое для формирования резонансного значения амплитуды поля, в резонансе Фано нулевая прозрачность также возникает не сразу, а спустя интервал времени, в течение которого устанавливается распределение поля, соответствующее условию полностью деструктивной интерференции. В течение этого интервала система прозрачна и формируется импульс, длительность которого определяется временем формирования резонанса Фано. Автором было также показано, что взаимодействие двух резонансов Фано может привести к уменьшению длительности импульса. Заметим, что ранее в литературе был уже описан метод формирования коротких импульсов света в резонаторах Фано с нелинейным керровским наполнителем, сдвигающим резонанс Фано. Этот метод менее удобен с точки зрения технологической реализации, чем подход, предложенный и описанный в диссертации. Среди других результатов А.В.Фримана следует также отметить описание генерации низкочастотного затухающего сигнала с частотой, равной разности собственной частоты резонанса Фано и частоты падающего излучения, а также новые результаты по свойствам фотонных кристаллов.

В процессе работы над диссертацией А.В. Фриман проявил себя не только как исследователь, способный находить закономерности поведения физических систем, но и как высококвалифицированный разработчик программного обеспечения, необходимого для успешного решения поставленных задач. В диссертации представлены разработанные автором алгоритмы моделирования оптических структур, использующие методы параллелизации вычислений на доступном аппаратном обеспечении, а также методы численного решения уравнений Максвелла для сред с нетривиальными электромагнитными характеристиками. Для решения обеих задач проводилась глубокая модификация программного пакета MEEP с открытым программным кодом, изначально разработанного в MIT, а новые алгоритмы были

верифицированы, имплементированы в код программы MEER и вызвали интерес научного сообщества.

А.В. Фриман зарекомендовал себя как инициативный и исключительно добросовестный научный сотрудник, обладающий широким научным кругозором и уверенно владеющий разнообразным арсеналом средств моделирования и численного исследования физических процессов и систем, способный самостоятельно ставить и решать научные задачи. А.В.Фриман является соавтором 7 научных работ, опубликованных в журналах, индексируемых в WoS. Результаты, полученные А.В. Фриманом, неоднократно были представлены как на российских, так и на международных конференциях и вызвали интерес коллег.

Считаю, что представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а А.В.Фриман заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 – «Оптика».

Научный руководитель:

высококвалифицированный главный научный сотрудник

Отделения физики твёрдого тела Федерального государственного

бюджетного учреждения науки Физический институт им. П.Н.Лебедева

академик, д.ф.-м.н.

Горбачев Александр Алексеевич



«12» января 2022 г.

ФИАН, 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53

тел.: +7 (499) 132-62-45

e-mail: gorbatsevichaa@lebedev.ru

Подпись Горбачева Александра Алексеевича

заверяю:

ученый секретарь ФИАН

к.ф.-м.н.

Колобов Андрей Владимирович

