

**«Физика — основа всего»:
лауреат программы ИТМО Fellowship Кирилл Бронников
о Ми-тронике, резонансных эффектах и фотонике будущего**

По данным Future Market Insights, в 2023 году объём мирового рынка фотоники превысил \$900 млрд, а через десять лет составит более \$1,6 трлн. Уже сегодня фотонику активно применяют в информационных и медицинских технологиях, промышленности, квантовых вычислениях. О том, какие перспективы открывает эта область и как изучают фотонику в ИТМО, рассказал лауреат программы [ИТМО Fellowship](#) по треку Postdoc **Кирилл Бронников**. В 2023 году он приехал в ИТМО из Новосибирска для работы над проектом «Развитие диэлектрической Ми-троники».



Кирилл Бронников. Фото: Дмитрий Григорьев / ИТМО.NEWS

— Почему вы вообще решили пойти в науку?

— Я с детства хотел заниматься чем-то, связанным с наукой и техникой. Твёрдо решил, что хочу быть учёным, в 9–10 классе. Выбирал из нескольких направлений: политология, экономика, физика. Решил, что в политологии и экономике при желании смогу разобраться и сам, а вот изучить самостоятельно физику будет очень трудно. На мой взгляд, любые эффекты, которые мы наблюдаем в мире, сводятся к физическим явлениям. Даже в основе химии и биологии лежит физика — она описывает поведение различных частиц, молекул и атомов на основе известных физических взаимодействий: электростатического, притяжения и отталкивания, ядерных сил, гравитации. Физика — основа всего.

— Расскажите, пожалуйста, подробнее, с каким научным направлением вы работаете?

— Раньше, в Новосибирске, я занимался лазерной модификацией поверхности материалов, в частности формированием лазерно-индуцированных периодических структур. По этой теме я защитил кандидатскую диссертацию и сейчас продолжаю дистанционно сотрудничать с [Институтом автоматизации и электротехники СО РАН](#), где работал раньше.

В ИТМО я хотел попробовать себя в другом направлении. Меня заинтересовали исследования резонансных эффектов в диэлектрических кольцевых резонаторах в группе Михаила Лимонова. Резонансы в таких структурах позволяют усилить нелинейные эффекты для связи электромагнитного излучения и вещества, а также уменьшить размер устройств фотоники и сохранить их характеристики. По сути, кольцевые резонаторы — это диэлектрические антенны, которые мы умеем настраивать под конкретные задачи.

По большей части я занимаюсь численным моделированием этих резонаторов, спектров рассеяния, расчётом электромагнитных полей. В основном работаю в программе для решения физических задач COMSOL Multiphysics.

Эти исследования — часть проекта по развитию диэлектрической Ми-троники. Так называют новое направление фотоники, в котором для получения различных оптических эффектов используются резонансы Ми, возникающие в объектах, сравнимых с длиной волны. Эти резонансы наблюдаются в диэлектрических частицах и не тратят энергию на нагрев, как обычно это происходит в металлических резонаторах.

У нынешней электронной компонентной базы есть ограничения в скорости работы: мы не можем подняться выше определенных частот в процессорах из-за физических ограничений. Поэтому наши надежды связаны с фотоникой, которая позволит создать вычислительные элементы на основе диэлектрических резонаторов. Переход от электрических сигналов к световым обещает увеличить быстродействие устройств в тысячи раз. Мы стремимся развить это направление и считаем, что диэлектрическая Ми-троника может стать его основой.



Кирилл Бронников. Фото: Дмитрий Григорьев / ИТМО.NEWS

— **В чём практическая значимость ваших исследований?**

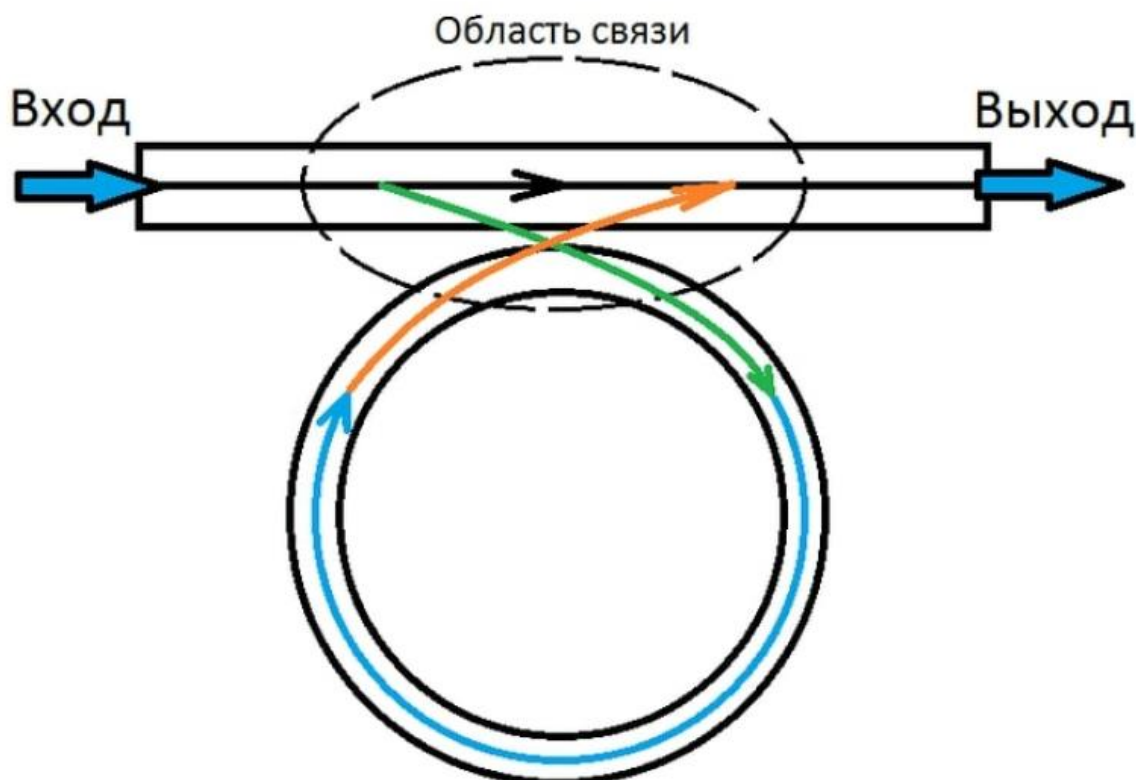
— В перспективе эти работы помогут создавать элементы будущей фотоники, которая должна прийти на смену электронике в виде оптических вычислительных и коммуникационных систем. Сейчас у нас гибрид: есть компьютеры с электронными компонентами, а есть система связи на оптоволокне, где световые сигналы передают информацию на высокой скорости с минимальными потерями. Хотелось бы иметь единую систему, в которой и коммуникация, и обработка информации с вычислениями будут оптическими.

Например, чтобы соединять каналы связи и проводить вычисления, нужно обрабатывать сигналы с разными частотами. Для этого можно отправлять эти сигналы через оптоволокно в виде широкого спектра, который содержит много длин волн одновременно. Тогда каждая длина волны станет несущей для конкретного канала связи и оптические волны не будут взаимодействовать друг с другом. Благодаря этому много абонентов смогут параллельно общаться друг с другом. Чтобы разделить эти сигналы в момент приёма, используются высокоселективные частотные фильтры.

Такой принцип уже реализован в современных оптоволоконных системах передачи данных. Однако размер подобных оптических компонентов сегодня составляет десятки-сотни микрометров. По сравнению с тем, чего удалось достичь в электронике (десятки нанометров), это слишком много. При этом, если использовать оптические компоненты меньшего размера, то эффективность их работы значительно упадет. Это одна из причин, по которой затягивается переход от электронных к полностью оптическим вычислительным устройствам.

Помочь решить эту проблему может использование особых резонансов в диэлектрических частицах, которые называются «связанные состояния в континууме». Они позволяют получить высокую добротность резонанса при размерах объекта порядка длины волны и снизить размер оптических компонентов. Применительно к задаче фильтрации различных частот это поможет создать высокоселективные фильтры существенно меньших размеров.

Также результаты наших исследований можно будет использовать при работе с лазерами на микромасштабах. Допустим, у нас есть лазер, работающий на длине волны ближнего инфракрасного диапазона, а нам требуется излучение видимого диапазона. Можно купить или сделать новый лазер с необходимыми параметрами, но, во-первых, это стоит дорого, а, во-вторых, подходящих решений может вообще не быть для нашей длины волны. Поэтому проще и дешевле пропустить излучение через кольцевой резонатор, сделанный из нелинейного материала, чтобы изменить частоту и получить видимый свет. При этом эффективность такого преобразования для кольцевого резонатора будет значительно выше, чем если бы мы использовали нелинейный материал произвольной формы.



— **Как вы узнали об ИТМО и программе ITMO Fellowship?**

— Мы с семьёй решили переехать в Петербург, и я стал искать место, где мог бы продолжить заниматься наукой. ИТМО оказался самым подходящим вариантом по моему направлению: здесь сильные научные группы, передовые исследования. Я узнал об университете от коллег со своего бывшего места работы — Института автоматизации и электрометрии в Новосибирске. Конкретно о программе ITMO Fellowship мне рассказал физик Алексей Кохановский, который уже работает по этой же программе в ИТМО.

— **И какие впечатления от нового места работы?**

— Мне очень нравится рабочая среда, многое сделано для отдыха сотрудников. В телеграм-каналах, на которые я успел подписаться, вижу много объявлений о разных вариантах досуга. Кроме того, здесь хорошие рабочие условия: мощные компьютеры для вычислений, есть переговорные комнаты, удобная цифровая среда по бронированию помещений.



Кирилл Бронников. Фото: Дмитрий Григорьев / ITMO.NEWS

— **Планируете ли вы коллаборации с другими научными группами или университетами?**

— Наша теоретическая группа сотрудничает с экспериментаторами-спектроскопистами, которые работают в микроволновом диапазоне, но мы ищем коллаборации и с другими группами Нового физтеха ИТМО — у нас уже есть варианты совместной работы. В частности, можно использовать наши кольцевые резонаторы, чтобы усилить нелинейные эффекты. Благодаря этому на основе наших кольцевых резонаторов и перовскитных материалов группы Сергея Макарова мы надеемся создать элементы фотоники с повышенной селективностью и чувствительностью.

— **Каким вы видите результат вашей работы в ИТМО?**

— Мы хотим определить условия, в которых возникают высокодобротные резонансы в кольцах, исследовать эти зависимости, описать их качественно и количественно, понять их причины и применить эти знания на практике: например, на перовскитах. Используя перовскитные материалы, мы планируем настроить наши кольца на определённые

резонансы. Это позволит повысить эффективность нелинейных процессов — например, генерации гармоник и фотолюминесценции. В перспективе это позволит создать более чувствительные и эффективные сенсоры, нанолазеры, фотодетекторы для применений в биосенсинге, компактных устройствах фотоники.

Кокорина Елизавета

Источники:

"Физика - основа всего": лауреат программы ITMO Fellowship Кирилл Бронников о Митронике, резонансных эффектах и фотонике будущего – Университет ИТМО (news.itmo.ru/ru), Санкт-Петербург, 20 октября 2023.

"Физика - основа всего": лауреат программы ITMO Fellowship Кирилл Бронников о Митронике, резонансных эффектах и фотонике будущего – Seldon.News (news.myseldon.com), Москва, 20 октября 2023.