

1. Измерение оптического резонанса шириной 0,1 Гц

W. Qu (Фуданский университет, Китай) и соавторы разработали методику, основанную на слабых квантовых измерениях, с помощью которой удалось измерить резонансную линию шириной менее 0,1 Гц [1]. Через газ атомов ^{87}Rb , находящихся в магнитном поле, пропускались лазерные импульсы. Импульсы с разной круговой поляризацией вызывали индуцированную прозрачность со временным сдвигом, в результате чего прозрачность среды имела вид узкого резонанса в области перекрытия импульсов. На выходе импульсы регистрировались двумя детекторами, и корреляционный сигнал через петлю обратной связи управлял акусто-оптическим модулятором на входе, что позволяло выполнять слабые квантовые измерения узкого резонанса. На основе данной методики был создан магнитометр с чувствительностью $7 \text{ фТ Гц}^{-1/2}$. Подобные магнитометры могут найти применение в различных областях, в том числе в медицине.

2. Спектроскопия молекул внутри наноклапель гелия

Спектроскопия с фемтосекундным разрешением по времени позволяет исследовать динамику быстрых электронных переходов, в том числе в процессах фотовольтаики и при фотосинтезе. Одним из важных направлений является спектроскопия молекул, находящихся в окружении других веществ, например в растворах. Передача окружающему веществу энергии, полученной при фотоионизации, предохраняет молекулу от фрагментации, но, в то же время, окружение сильно влияет на молекулу, затрудняя измерение её собственных свойств. В. Thaler (Грацский технический университет, Австрия) и соавторы обнаружили [2], что для молекул In_2 внутри наноклапель сверхтекучего гелия этой проблемы не возникает, так как влияние гелия очень слабое. Наноклапели получались путём распыления гелия из сопла в вакуумную камеру, и затем при пропускании через камеру паров индия в каждую наноклапелю попадало в среднем по два атома In , объединившихся в молекулу. Наноклапели освещались лазерными импульсами, и по спектру вылетающих фотоэлектронов было обнаружено два типа динамики: эжекция In_2 из наноклапели и колебания молекул In_2 внутри наноклапели с периодом 0,42 пс. Колебания продолжались в течение десятков пс и с уменьшенной амплитудой возобновлялись через каждые 145 пс. Затухания колебаний происходили за счёт дефазировки. При этом возмущения, вносимые сверхтекучим гелием в процесс колебаний, были в 10–100 раз ниже по сравнению с любым другим растворителем.

3. Новый класс полупроводников

Обычный кремний с кубической кристаллической решёткой находит широкое применение, однако он имеет непрямую запрещённую зону, когда зона проводимости и валентная зона смещены друг относительно друга, и излучение фотонов невозможно. Поэтому на основе обычного кремния нельзя создать источники света для микроэлектроники. E.M.T. Fadaly (Технический университет Эйндховена, Нидерланды) и соавторы обнаружили [3], что при модификации кристаллической решётки в гексагональную сплав кремния с германием $\text{hex-Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ при $x > 0,65$ становится прямым. Это показано путём вычислений методом функционала плотности и затем подтверждено в эксперименте. Технологически сложная задача получения сплава с гексагональной структурой и малой плотностью дефектов была решена путём использования подложки из GaAs, на которую осаждались Si и Ge. Фотолюминесцентная спектроскопия показала наличие узкого эмиссионного пика с температурной зависимостью и временем рекомбинации ~ 1 нс, характерными для прямозонных полупроводников. Таким образом, в данной работе продемонстрирован новый класс полупроводников, на основе которых можно создавать источники света, непосредственно интегрированные в кремниевые чипы. Это открывает новые перспективы для нанoeлектроники, фотоники и информационных технологий. О применении полупроводников см. в [4, 5].

4. Анизотропия Вселенной?

Предположение о том, что скорость расширения и другие свойства Вселенной одинаковы во всех направлениях, лежит в основе Стандартной космологической модели. Хотя анизотропные космологические модели теоретически рассматривались уже давно, крупномасштабная изотропия реальной Вселенной до последнего времени почти не вызывала сомнений. Самое сильное свидетельство изотропии следует

из наблюдений реликтового излучения. Если исключить тривиальную дипольную анизотропию, связанную с движением Солнечной системы относительно реликтового излучения, то Вселенная будет выглядеть практически изотропной, за исключением некоторых асимметрий, которые могут являться статистическими флуктуациями, или аномалий типа Холодного пятна. О возмущениях в реликтовом излучении см. в обзоре О.В. Верхованова [6]. К. Migkas (Боннский университет, Германия) и его коллеги реализовали новый чувствительный метод исследования, который неожиданно выявил наличие статистически значимой крупномасштабной анизотропии Вселенной [7]. Изучалась связь между рентгеновской светимостью и температурой горячего газа в скоплениях галактик в разных направлениях. При независимом определении красного смещения этот метод даёт модельно-независимые результаты. Использовались данные по 313 скоплениям галактик из каталога ROSAT All-Sky Survey и обзоров Chandra и XMM-Newton. Оказалось, что в разных направлениях на небе нормировка соотношения температура–светимость варьируется на $16 \pm 3\%$. С достоверностью $\sim 4\sigma$ это говорит о том, что Вселенная в разных направлениях расширяется с разной скоростью. А при комбинации с дополнительными данными по 842 скоплениям галактик достоверность возрастает до $\sim 5,5\sigma$. Максимум дополнительной анизотропии смещён на $\sim 50^\circ - 100^\circ$ по отношению к оси диполя, связанного с движением Солнца. Природа обнаруженной анизотропии пока не выяснена. Поглощение рентгеновского излучения в облаках газа в локальной области Вселенной слабо и не может служить объяснением. Возможно, анизотропия связана с неоднородностью заполняющей Вселенную тёмной энергии или наличием крупномасштабных потоков вещества. Подтверждение анизотропии Вселенной имело бы большое научное значение — оно изменило бы устоявшуюся космологическую парадигму, поэтому необходимы дополнительные проверки и исследования.

5. Физика вирусов

В современной микробиологии физические методы исследования играют принципиально важную роль. К примеру, с помощью электронных микроскопов впервые были получены изображения вирусов, рентгенограммы кристаллизованных вирусов позволили выяснить их структуру, а сканирующие атомно-силовые микроскопы позволяют детально исследовать форму белковой оболочки вируса (капсиды). В биофизике также широко изучаются процессы самосборки вирусов из РНК/ДНК и белков и механические свойства вирусных частиц [8]. Всё это может помочь в разработке эффективных вакцин и лекарств. И наоборот, развитые в микробиологии методы получают применение в нанотехнологиях. В будущем вирусы и вирусоподобные частицы могут использоваться, например, в качестве средства доставки лекарственных средств в клетки и даже в качестве строительных блоков в микроэлектронике. Для этих и других целей важно понимать физико-химические свойства вирусов. В новом исследовании J. Shang (Миннесотский университет, США) и соавторов [9] с помощью метода кристаллизации и рентгеновской дифракции построена трёхмерная модель белка коронавируса SARS-CoV-2 и определены рецепторы, находящиеся на шиповидных белковых выростах и ответственные за проникновение вируса в клетку. Эти результаты важны как для выяснения эволюционного происхождения SARS-CoV-2, так и для поиска методов лечения и профилактики. О физических процессах в микробиологии и физических методах исследований биологических объектов см. также в [10–12].

Список литературы

1. Qu W et al. *Nature Commun.* **11** 1752 (2020); <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15557-6>
2. Thaler V et al. *Phys. Rev. Lett.* **124** 115301 (2020); <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.115301>
3. Fadaly E M T et al. *Nature* **580** 205 (2020); <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2150-y>
4. Вавилов В С *УФН* **165** 591 (1995)
5. Баранов П Г и др. *УФН* **189** 849 (2019)
6. Верхованова О В *УФН* **186** 3 (2016)
7. Migkas K et al. *Astron. Astrophys.* **636** A15 (2020); <https://arxiv.org/abs/2004.03305>
8. Buzon P, Maity S, Roos W H, <https://doi.org/10.1002/wnan.1613>
9. Shang J et al. *Nature*, онлайн-публикация от 30 марта 2020 г.; <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2179-y>
10. Вайнштейн Б К *УФН* **109** 455 (1973)
11. Иваницкий Г Р и др. *УФН* **168** 1221 (1998)
12. Твердислов В А, Малышко Е В *УФН* **189** 375 (2019)