

# ДВИЖЕНИЕ БЕЗ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Новые материалы могут уже в ближайшие десятилетия кардинально изменить нашу жизнь. Об этом рассказали директор Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) **Николай Николаевич Колачевский** и руководитель Центра высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов им. В.Л. Гинзбурга **Владимир Моисеевич Пудалов**.



Массивное трехэтажное желто-белое здание, облицованное по-современному керамогранитной плиткой. Внутри — блеск, чистота и запах свежей краски. Здесь, в открытом недавно десятом корпусе ФИАН уже сегодня начинается будущее.

## Хорошее на строение

— **Центр не производит впечатления новостроя. Здание никак не выделяется из архитектурного стиля, в котором был построен весь комплекс ФИАН в 1951 г.**

**Н.К.:** Здесь был корпус, который у нас больше 30 лет арендовал Институт ядерных исследований (ИЯИ) РАН. Вы правы, это не совсем новое здание. Правильнее сказать, оно реконструированное. Когда-то здесь стояли огромные генераторы Ван де Граафа, на которых в 1960–1970-х гг. проводились важные для того времени исследования. Потом, естественно, все это стало неактуально.

**В.П.:** В 1970 г. Институт ядерных исследований отпочковался от ФИАН, и этот корпус достался ему «по наследству». Когда для ИЯИ построили в Троицке новые корпуса, это здание стало ему не нужно.

— **Ядерщики отдали здание без споров? Жилищный вопрос их не испортил?**

**Н.К.:** Нет. Я вообще полагаю, что если что-то не используется, а может использоваться для



Член-корреспондент РАН Н.Н. Колачевский

науки, эту возможность надо реализовывать. У наших институтов огромное хозяйство, есть во что вдохнуть жизнь.

— **Неужели дело обошлось совсем без административного ресурса?**

**Н.К.:** Не совсем, тут огромную роль сыграл лауреат Нобелевской премии академик В.Л. Гинзбург. Организация Центра высокотемпературной сверхпроводимости на базе этого корпуса было целиком его идеей. Без его имени и энергии то, что мы сейчас видим, было бы невозможно.

**В.П.:** Виталий Лазаревич заразил меня этой идеей 11 лет назад. Помню, я был на даче, и тут он звонит: «Владимир Моисеевич, а давай-ка ты займешься серьезной научной проблемой, которая имеет колоссальное научное и общественное значение: высокотемпературной сверхпроводимостью». С его доводами трудно было не согласиться, и мне пришлось сменить специальность. С тех пор я занимаюсь этим корпусом и проектом. Сам же В.Л. Гинзбург увлекся направлением значительно раньше, он и Нобелевскую премию в 2003 г. получил «за пионерский вклад в теорию сверхпроводников и сверхтекучих жидкостей». Он уже тогда понимал, что вопрос высокотемпературных сверхпроводников относится к числу крупнейших научных задач, которые Россия вполне может решить. Умы для этого у нас есть, колоссальных ресурсов не требуется, так почему не взяться? И он начал пробовать идею центра. Несколько раз обращался к В.В. Путину, у которого тогда шел первый президентский срок. Не просто писал, а добивался, чтобы его письма прочитали и рассмотрели. Время было довольно тяжелое, с деньгами у государства было сложно, приоритеты, особенно в науке, не определены. Это сейчас они немного выкристаллизовываются, и то с большим трудом. В рамках нацпроекта хоть примерно стало ясно, какие у нас целевые задачи. А тогда было совершенно непонятно, какую науку мы развиваем — фундаментальную, вузовскую или прикладную. А это все разные ветки. Молодежь при этом металась, потому что никто не понимал, то ли деньги надо идти зарабатывать, то ли статьи писать, то ли в оборонные программы погружаться. Без В.Л. Гинзбурга такой центр не получилось бы реализовать. У него была неиссякаемая энергия. Но ему все равно требовались молодые и увлеченные помощники. Я был помоложе, и он привлек меня.

— **Как преемника?**

**В.П.:** Знаете, великих ученых в России было много. Но далеко не все думали о дальнейшем развитии своего института, который рано или поздно они должны будут оставить. Это большая работа, которая отбирает много времени и сил. И не все считали нужным делать так, как поступал Виталий Лазаревич, который прекрасно понимал, что

времени у него осталось мало и он вряд ли сможет присутствовать на открытии центра, для создания которого так много сделал.

**Н.К.:** Тут ведь еще давит груз времени. У нас был период до начала 1980-х гг., когда в большом количестве, местами с избытком, строились институты. Шло почкование научных идей. Потом начался спад. У руководства страны возникал резонный вопрос: мы так много всего настроили, не знаем, что с этим делать, зачем еще что-то новое создавать? В такой ситуации переубедить, настоять на необходимости капитальных вложений в новое направление мог только очень энергичный человек.

То, что создано благодаря стараниям В.Л. Гинзбурга, — это не просто корпус или лаборатория. Это примерно масштаб института знаменитого немецкого Общества Макса Планка, где идут серьезные исследования в целевом направлении. Только на более современном этапе.

**В.П.:** Как обычно строятся новые институты и центры? Вначале заказывают проект архитектору или проектной организации, там рисуют красивые здания, создают причудливые формы, а потом начинают туда «втискивать» приборы и оборудование по принципу «куда что войдет». Здесь все было наоборот. В.Л. Гинзбург согласился с моей идеей о том, что нужно вначале продумать всю технологию, понять, какая будет аппаратура, как и где она будет расположена, как будет двигаться научный продукт. Вплоть до продумывания маршрутов движения людей, чтобы загрязнение от входящих не поступало в «чистые комнаты» и т.д.

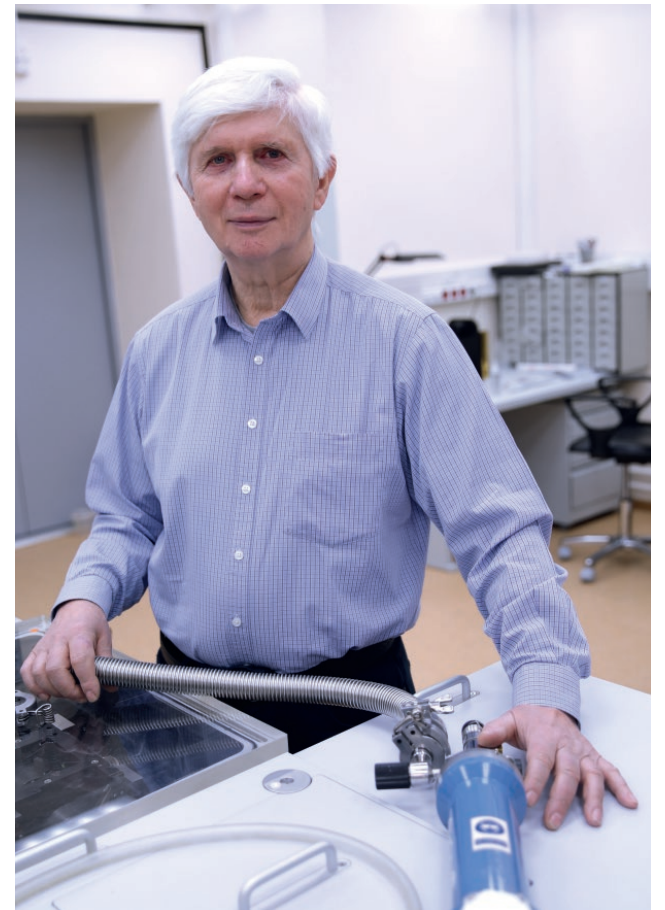
— **То есть прорабатывалась логистика?**

**В.П.:** Прорабатывалось абсолютно все. Само здание создавалось именно для проведения конкретных научных исследований, для организации полного цикла с огромной инфраструктурой. У нас не стоял вопрос, что разместить или для чего приспособить такое-то помещение. Стоял вопрос, каким должно быть помещение, в котором будет установлена такая-то аппаратура, то есть стратегия была простая: не втискивать науку в архитектуру, а окружать науку архитектурой.

## Холодно, тепло, еще теплее

— **Ядерных центров у нас масса: Дубна, Курчатник, Троицк, Протвино... А центров сверхпроводимости до вас в России не было?**

**В.П.:** Давайте вначале определим, чем сверхпроводимость отличается от сверхпроводимости высокотемпературной. У нас есть просто низкие температуры. Обычно они присутствуют в мясомолочной или рыбной промышленности, это от 0° С до твердой углекислоты, сухого льда: -78° С. В физике низкие температуры — это когда становится жидким гелий-4, примерно четыре



Член-корреспондент РАН В.М. Пудалов

градуса Кельвина (-269° С). Сверхнизкие — это ниже одного градуса Кельвина. Там, при микрокельвинах, потрясающе красивая физика — холодные атомы в атомных ловушках. В 1911 г. голландский физик Хейке Камерлинг-Оннес обнаружил, что в жидком гелии металлы теряют электрическое сопротивление, оно обращается в ноль. Это явление было названо сверхпроводимостью. Потом в этой области очень много сделали наши соотечественники. В своем письме президенту страны академик В.Я. Гинзбург писал: «Советские и российские физики получили всего шесть Нобелевских премий. И три из них (Л.Д. Ландау, П.Л. Капица и мы с А.А. Абрикосовым) получены за работы в области низких температур, в которой сверхпроводимость — это главное и, если угодно, центральное явление». Было много открытий, различные научные премии шли одна за другой. Наконец, сверхпроводимость вышла из лабораторий, сейчас она используется на больших ускорителях, в токамаках, на строящемся Международном экспериментальном термоядерном реакторе (ITER), других крупных научных установках. Но она работает именно в области низких температур.





Подпись Подпись Подпись Подпись Подпись Подпись Подпись  
Подпись Подпись Подпись Подпись Подпись Подпись

— **В жидком гелии, ниже четырех по Кельвину.**

**В.П.:** Да. А в 1986 г. сотрудники научного подразделения *IBM* Карл Мюллер и Георг Беднорц нашли соединение  $La_{2-x}Ba_xCuO_4$ , которое переходило в сверхпроводящее состояние при 35 К. За это им уже в 1987 г. была присуждена Нобелевская премия. Это явление получило название «высокотемпературная сверхпроводимость». Дальше пошла настоящая гонка, критическая температура поднималась все выше. В том же 1987 г. было установлено, что оксид иттрия-бария-меди переходит в сверхпроводящее состояние уже при 92 К, то есть он становится сверхпроводником в жидком азоте. Дальше — больше. В 2015 г. было установлено, что обычный сероводород проявляет сверхпроводимость при 203 К (-70° С). Правда, для этого нужно давление 150 ГПа.

— **Это же почти 1,5 млн атмосфер!**

**В.П.:** На сегодня рекорд — от 215 до 260 К (-13° С). Сверхпроводимость достигается при сжатии сульфид лантана до 170 ГПа.

— **То есть выше температуры обычного сухого льда?**

**В.П.:** Да, существенно выше.

— **А при нормальном давлении что-то есть?**

**В.П.:** Есть, но температуры пока несколько ниже. Из надежно подтвержденных результатов рекордсмен — открытый российским химиком Е.В. Антиповым из МГУ оксид ртуть-бария-кальция-меди, у которого критическая температура — 135 К.

Но и это не предел. В сущности, у нас нет фундаментальных физических препятствий для того, чтобы достичь сверхпроводимости при комнатной температуре. И В.Л. Гинзбург обозначил эту проблему как одну из самых приоритетных. Но, конечно, такие высокотемпературные сверхпроводники, помимо прочего, должны быть еще и дешевыми в производстве. Те, которые сейчас существуют, пока дороги. Метр сверхпроводящего кабеля стоит около \$100.

**Н.К.:** Да, и для них требуются специфические условия. Поэтому сейчас идет активная поисковая работа. Для этого требуется решить целый комплекс материаловедческих задач, чему и служит наш Центр высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов. Центры сверхпроводимости в России были и до нас. В Советском Союзе был создан Институт физики твердого тела, знаменитый Институт физических проблем П.Л. Капицы, куда съезжались исследователи со всей страны, чтобы провести опыты при низких температурах. Он и сейчас остается очень авторитетным. Но в нашем центре есть своя специфика. Это комплексный подход к проблеме. В комплексном виде программа создания новых сверхпроводников сегодня обозначена, пожалуй, только в США. Там она называется *Material Genome Initiative* («Инициатива генома материалов») и предполагает объединение всей цепочки создания нового материала — от теоретических расчетов до практических испытаний. Это же было задумано с самого начала Виталием Лазаревичем и здесь.

— **Все начинается именно с теоретических расчетов?**

**В.П.:** Конечно. Расчеты того, как будут укладываться атомы, в какую структуру, какой у них будет спектр колебаний, какой спектр электронов будет в решетке. Теоретические расчеты переходят в синтез материалов. В ФИАН есть группа, которая занимается такими расчетами, а в нашем центре уже есть группа синтеза. Следом вновь созданные материалы поступают на характеристику для проверки, получилось ли у нас то, что нам хотелось получить. Если получилось, дальше материал поступает на физические исследования.

**Н.К.:** И все это, естественно, делается в международной коллаборации. Группа Владимира Моисеевича установила тесные контакты с учеными из Голландии, Бельгии, Германии, Англии, Швейцарии, Финляндии, США. Мы уверены, что комплекс наших лабораторий привлечет специалистов из-за рубежа и что процесс научного обмена здесь будет очень интенсивным, так как у нас созданы все условия для работы и налажена хорошая инфраструктура. Я много проработал в Германии и скажу, что у нас условия не отличаются.

**В.П.:** Не согласен. Отличаются. У нас лучше. Центров такого класса, где создана полная цепочка, совсем немного. Они есть в Америке, Китае и в гораздо меньшей степени — в Германии и Японии. Теперь создан и в России. Этим список стран исчерпывается. Когда В.Л. Гинзбург думал о таком центре, одной из главных идей было устранение необходимости краткосрочных поездок наших ученых для проведения измерения или эксперимента то в одном, то в другом месте, потому что в этом случае систематическое исследование провести невозможно, да и часть полученных результатов неизбежно утекает. И дальше они служат развитию исследований в тех лабораториях, где были получены.

## Дашь молодежь

— **Разве для науки имеет значение, в какой лаборатории сделано открытие?**

**В.П.:** Для большой науки — нет. Но все-таки очень хочется продвигать в тех или иных достижениях приоритет России, а не США или Китая. А для этого надо иметь полную собственную кухню, чтобы у нас готовилась не только начинка для большого пирога, но и весь пирог. И чтобы удовольствие от пирога чувствовалось именно здесь.

**Н.К.:** в организационном плане вопрос о том, что Россия много вкладывает в международные коллаборации, а получает от этого мало, часто поднимался и в министерстве, и в ФАНО, когда оно существовало, и в академии наук. У нас там хорошие успехи, туда едут наши ученые. В *CERN*, например, работает большая группа исследователей из ФИАН.

— **А вся слава достается Швейцарии. Где открыли бозон Хиггса? В Швейцарии. И никого не волнует, что там работали российские ученые и инженеры, что там стояла российская аппаратура.**

**Н.К.:** Естественно. А нам хотелось бы самим выращивать здесь авторитетные группы, которые привлекут специалистов из-за рубежа. Тем более что в рамках нацпроекта «Наука» предполагается формирование за три года 15 научных центров мирового уровня. Наш центр де-факто и есть зародыш такого научного центра мирового уровня. Понятно, что его надо интенсифицировать, увеличивать кооперацию, делать центром коллективного пользования. А для этого необходимо оборудование коллективного пользования, потому что далеко не все лаборатории могут позволить себе купить многие дорогостоящие приборы. Поэтому, мне кажется, идеология научного центра мирового уровня здесь уже почти воплощена.

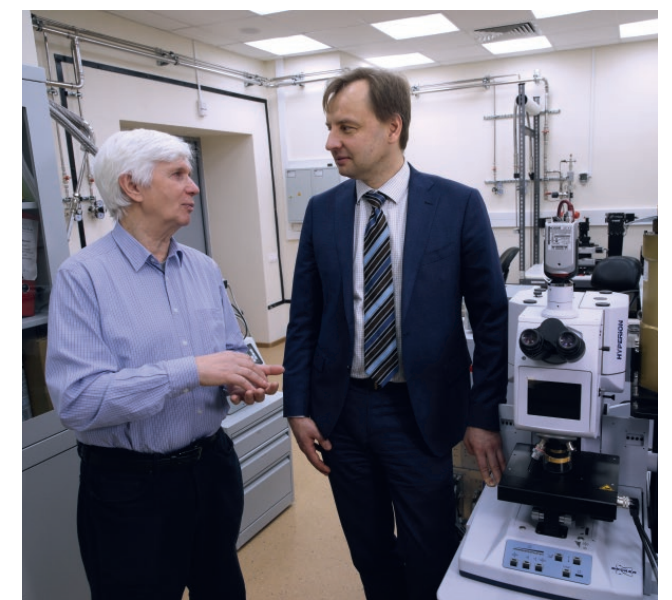
— **То есть здесь предполагается создать центр коллективного доступа?**

**В.П.:** Он уже создан, надо просто сделать, чтобы он действовал более интенсивно. Часть установленного оборудования уже работает в режиме коллективного доступа. И остальное заработает. Не все еще настроено, запущено и подключено.

**Н.К.:** Есть второй вопрос. У нас пока еще не так много идей, светлых голов и серьезных инициативных групп. Их всегда было мало, и не только в России, везде. Даже если ты купишь хорошее оборудование, не значит, что тут же к тебе выстроится очередь. Такие практики уже были в России. Нам предстоит серьезная и кропотливая работа — собрать и вырастить новое поколение настоящих ученых.

— **Неужели в нашей стране мало специалистов в области сверхпроводимости и квантовых материалов?**

**Н.К.:** В стране не мало, но набрать уже готовых специалистов, привлечь их, переманить, особенно из-за границы, — задача почти нереализуемая. Есть, конечно, маленький ручеек людей, которые там поработали и возвращаются обратно или съездили за границу, но там им не удалось реализовать научную карьеру, или им там что-то не понравилось и они хотят вернуться. Но это единичные случаи. Все-таки единственный действительно надежный источник нашего будущего — это наши вузы, партнеры, кооперация. И сейчас перед нами стоит задача — сконцентрировать людей и усилия, чтобы молодежь не чувствовала себя здесь одинокой. Когда студент приходит в лабораторию, сидит там один и нет у него никого, кроме научного руководителя, возникает ощущение тоски. Даже если задача интересная. Так устроена психология молодых, они в вузах привыкли к тому,



Подпись Подпись Подпись Подпись Подпись Подпись Подпись  
Подпись Подпись Подпись Подпись Подпись Подпись







**В.П.:** Мне легко фантазировать, я не буду отвечать за то, что будет через 50 лет. Но, конечно, произойдет настоящая революция в энергетике и транспорте.

— **Энергетика понятно, а почему в транспорте?**

**В.П.:** Казалось бы, авиация и сверхпроводимость — какая связь? А сверхпроводящий самолет — серьезный проект, который рассматривается и реализуется и в Европе, и в США. Россия в нем тоже участвует.

— **Это что, электросамолет?**

**В.П.:** Не просто электросамолет, каких уже немало, а новый тип электросамолета, у которого вместо керосиновых или газовых турбин будет единый генератор и электромоторы на крыльях.

— **Разве нельзя сделать то же самое без сверхпроводников?**

**В.П.:** Можно, но эффективность будет на порядки ниже. Это как современный локомотив рядом с паровозом. Сверхпроводящие обмотки позволят достичь фантастических мощностей. Там вообще масса места для сверхпроводимости. Дальше — наземный транспорт. Сейчас вы до Нижнего Новгорода из Москвы, а это около 400 км, добираетесь примерно четыре часа, и это неплохо. Но лучше было бы туда доезжать за полчаса.

— **Есть такая возможность?**

**В.П.:** Конечно. И в Японии, и в Китае уже существуют поезда на магнитной подвеске, которые развивают скорость свыше 500 км в час. Постоянный магнит на сверхпроводниках легко удержит огромный состав. Я уж не говорю про то, что сверхпроводимость может дать оборонному комплексу. Но главная революция произойдет все-таки в энергетике. Сейчас мы получаем электроэнергию в основном за счет невозобновляемых ресурсов — нефти, газа, угля и т. д.

— **Еще за счет сжигания урана.**

**В.П.:** Ядерная энергия — это хорошо, но она имеет массу своих минусов. Термоядерная энергетика пока не получается. Но у нас есть еще солнечная энергия.

— **Для эффективной солнечной энергетики нужна хорошая соляризация. А у нас в стране полгода зима.**

**В.П.:** Правильно. У нас строительство солнечных электростанций не имеет большого экономического смысла. Но ведь есть на планете Земля места, где Солнца не просто много, а очень много. Например, пустыня Сахара. Там на площади в несколько сотен квадратных километров, что будет составлять 1% от территории, можно установить солнечные элементы, мощности которых даже при 20% КПД хватит на то, чтобы удовлетворить потребности всей Европы. Но тут перед нами встает проблема ее передачи. И здесь без сверхпроводящих кабелей не обойтись. Если будет решена проблема сверхпроводимости, которая не требует

дорогостоящей инфраструктуры, тогда эту электроэнергию можно будет дешево и без потерь передать хоть в Европу, хоть в Азию...

— **Хоть в Австралию, хоть в США...**

**В.П.:** Туда нет смысла, там есть свои подходящие пустыни, например Виктория и Невада. Далее: электроэнергию надо не только добывать, но и экономить.

— **Сэкономил — значит заработал.**

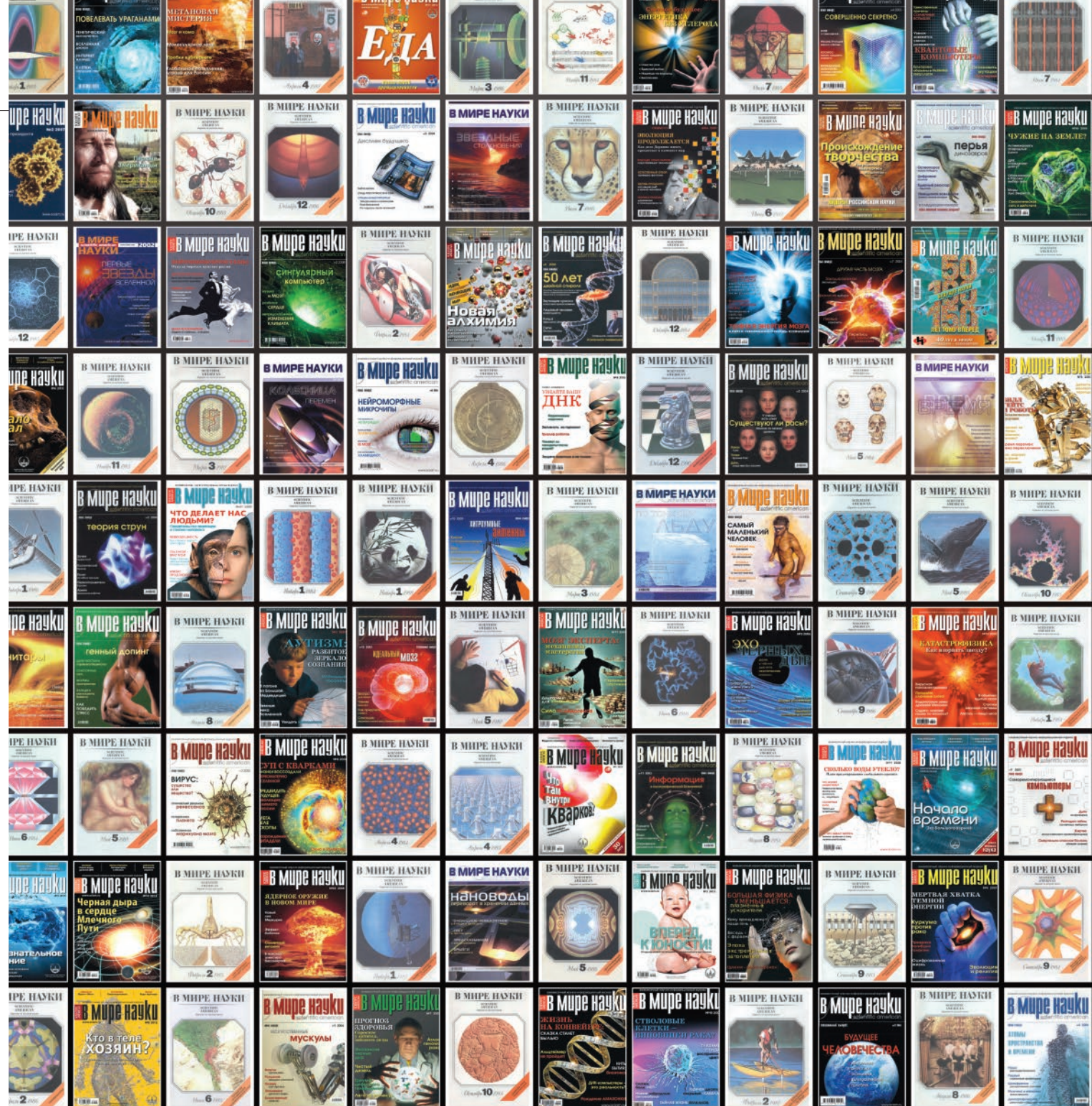
**В.П.:** Совершенно верно. И здесь у сверхпроводников огромные перспективы. Повышение передаваемой мощности с использованием силовых кабелей из традиционных меди и алюминия в основном решается сегодня за счет увеличения электрического напряжения. Максимально достигнутые значения — 500–800 кВ. Это ограничивает передаваемую мощность на уровне 0,5–1,5 ГВт. При этом требуются особые условия прокладки линий, особенно в условиях городской среды, возникает ряд экологических проблем: блуждающие токи, разогрев почвы, электромагнитные излучения... Резко увеличить мощность распределительных сетей без изменения напряжения можно, заменив традиционные силовые кабели сверхпроводящими. Наши коллеги из ВНИИ кабельной промышленности уже создали отрезок такого кабеля длиной 220 м. Он установлен и успешно прошел все испытания. Технически возможно проложить по дну океана электроэнергетический кабель из России, например, в Японию, чтобы торговать не нефтью и газом, а электроэнергией — более технологичным продуктом с высокой добавленной стоимостью. Тут много возможностей.

**Н.К.:** Сверхпроводимость уже сегодня позволяет решить множество проблем. У нас масса генерирующих компаний со своими энергосетями. На их стыке часто возникают сложности. Там нужны устройства, которые обеспечивают безопасное соединение, а в случае аварии оперативно отключают одну сеть и подключают другую. Здесь уже используются сверхпроводниковые токоограничители, переключатели и т. д. Но сегодняшние сверхпроводники, как мы уже говорили, пока слишком сложны и дороги. И одна из наших целей как раз состоит в том, чтобы создать более простые, дешевые и дружелюбные к человеку сверхпроводники.

— **И все-таки через сколько лет нам ждать Нобелевской премии за открытие сверхпроводимости при комнатной температуре?**

**В.П.:** Некорректный вопрос. Я был бы полным профаном, если бы попытался что-то прогнозировать в этом направлении. Да и сглазить можно. Но скажу одно. Виталий Лазаревич Гинзбург в последние годы, когда уже был прикован к постели, говорил мне: «Я наверняка не доживу до открытия комнатной сверхпроводимости, но вы обязаны это сделать».

Беседовал Валерий Чумаков



## Хотите знать о науке больше?

Полный архив выпусков журнала «В мире науки» — на сайте издания по адресу: [www.sciam.ru](http://www.sciam.ru)

**В мире науки**  
SCIENTIFIC AMERICAN

Теперь можно купить и отдельные статьи

