



## ФИЗИКА И ИНФОРМАТИКА В ТЕХНОЛОГИЯХ БУДУЩЕГО

*Валентин Орлович,  
академик-секретарь Отделения физики, математики и информатики  
НАН Беларуси, академик*

Отличие физики от всех других наук заключается в том, что она изучает самые основные, фундаментальные законы нашего мира, при этом в процессе их исследования и описания широко использует язык математики, а в последние десятилетия – информационные технологии.

В наше время значение физики чрезвычайно велико. Все то, чем отличается современное общество от общества прошлых веков, все, что окружает нас повседневно и без чего мы уже в принципе не можем представить себе нашу жизнь, появилось в результате применения на практике физических открытий, которые привели к основополагающим изменениям в жизни человечества: космическим технологиям, новым методам сверхточных измерений, медицинской диагностики и лечения, созданию новых материалов, средств коммуникации, наконец, к новым информационным технологиям. Эти технологии оказали столь сильное влияние на человечество, что породили концепцию «информационного общества», в котором большинство работающих занято производством, хранением, переработкой и реализацией информации.

В течение жизни нашего поколения мы стали свидетелями удивительных достижений в области информационных и компьютерных технологий, связи и коммуникаций. Их бурное развитие продолжается, и предполагается, что в ближайшие 10–15 лет будут разработаны и уже разрабатываются небольшие персональные и офисные компьютеры, а также карманные вычислительные устройства, сопоставимые по памяти и скорости вычислений с современными суперкомпьютерами. Пользователи

Интернета, включая людей, технические устройства и сенсоры, будут иметь неограниченные возможности для хранения и обработки малоструктурированных данных. Для их использования потребуются специальные технологии искусственного интеллекта, такие как нейронные сети, машинное обучение и др. Нет никакого сомнения в том, что компьютерные технологии будут востребованы в управлении страной, во всех сферах жизни общества. Эксперты считают, что через 15–20 лет практически все люди будут представлены в Интернете. Доступ к Сети будет рассматриваться как одно из основных прав человека и будет обеспечен на всей обитаемой территории. Будут разработаны новые технологии цифрового общения между людьми, между людьми и государственными и социальными службами (электронное правительство) и между людьми и вычислительными устройствами (умные дома, умные города, цифровые предприятия). Чтобы идти в ногу с мировым прогрессом, Беларусь должна уделять этому направлению особое внимание и оказывать максимальную поддержку его развитию.

Новый импульс получила в настоящее время тема искусственного интеллекта. Термин был введен в научный обиход в конце 1950-х гг., и одно из его толкований предполагало, что работу человеческого мозга удастся скопировать с помощью несложных математических моделей. Но постепенно выяснилось, что эту проблему так просто не решить. Конечно, многое удалось сделать, но искусственный интеллект в смысле способности саморазвития компьютерных систем так и не был создан. Сейчас есть все предпосылки для серьез-

ного научно-технологического прорыва в этом направлении: имеются компьютерные модели, способные к обучению и самообучению; появились мощные и недорогие вычислительные ресурсы, обеспечивающие поддержку моделей; имеются огромные наборы цифровых данных, с помощью которых можно осуществлять процесс обучения. Государства и частный бизнес вкладывают существенные финансовые ресурсы в создание систем искусственного интеллекта. Результаты не заставили долго ждать. Например, в последнее время продемонстрированы прорывные успехи в распознавании цифровых данных и речи.

Разработка новых компьютерных методов обработки и анализа биологических данных является одним из наиболее важных и перспективных векторов развития науки и технологий. Этому в значительной степени способствовали достижения ученых по расшифровке генетических данных живых организмов. В начале 2000-х гг. был успешно завершён проект «Геном человека», длившийся более десяти лет и позволивший расшифровать ДНК человека. Технологический рывок последнего десятилетия, использующий также достижения математики и информатики, позволил получать полный геном организмов в течение нескольких недель. В последние годы сформировались, в том числе в нашей стране, новые научные направления, включающие биоинформатику, структурную биологию, биофармацию и другие, активно опирающиеся на математические и компьютерные методы анализа геномных данных и белковых структур.

В США, Европейском союзе, России и других странах стартовали крупные научные проекты, нацеленные на то, чтобы объяснить, как физико-химические процессы в мозге формируют сознание и поведение человека. По оценкам специалистов, в мозге человека содержится 86 млрд нейронов, которые образуют порядка 100 трлн связей. Современные компьютеры не позволяют построить адекватные функциональные модели такого масштаба. Однако разрабатываются компьютерные платформы, объединяющие усилия сотен партнерских организаций из многих стран для решения сложнейшей задачи. Коллективный подход спосо-

бен обеспечить научный прорыв и масштабные открытия в области исследования мозга. Отмечается высокая вероятность появления искусственного интеллекта уже в середине XXI в. Если такое произойдет, то это поставит перед человечеством ряд совершенно новых задач и проблем.

В Национальной академии наук Беларуси (Объединенный институт проблем информатики, другие организации) и ведущих вузах республики проводятся исследования мирового уровня в области искусственного и естественного интеллекта, робототехники. Они связаны с обработкой биологических и медицинских данных, данных дистанционного зондирования Земли, цифровой фото- и видеоинформации, сведений о физических процессах, речи и текста. Результаты обработки используются для принятия интеллектуальных решений, сравнимых, а иногда и превосходящих по качеству решения человека-эксперта. Разрабатываются новые технологии управления движением роботов, системы управления роботами через Интернет, управления группами роботов, их навигации, создаются образовательные роботы. Но прежде чем эти технологии начинают служить обществу, они рождаются и созревают в научных лабораториях. Так было, есть и будет. Необходимо отметить, что в области информатизации общества, достижений в информационных технологиях, их практического применения Беларусь входит в число тридцати мировых лидеров, что весьма существенно для нашей страны с относительно малой численностью населения.

Наше время – эра расцвета квантовых технологий, уже принесших значительные результаты и обещающих столь много фундаментально нового и перспективного, что последнее десятилетие называют второй квантовой революцией. Это явилось результатом глубинного понимания процессов, происходящих на уровне одиночных частиц и квантов, осознания возможности манипулирования ими в максимально широких пределах, ограниченных лишь фундаментальными законами физики, использования этих законов для инноваций, создания прорывных технологий, способных решительным образом изменить жизнь человечества. Например, открытие невозможности иде-



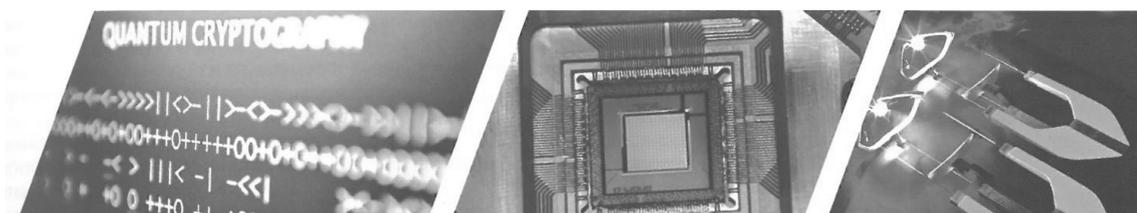
ального клонирования неизвестного квантового состояния в 1982 г. привело к созданию принципиально безопасного способа шифрования, квантовой криптографии, которая впоследствии превратилась в коммерческую технологию, применяемую в тех случаях, когда необходима высочайшая степень безопасности передаваемых данных (прежде всего в приложениях оборонного, финансово-экономического и государственно-управленческого назначения). Квантовая криптография стремительно развивается, безопасная передача информации стала возможна на сотни километров. В 2015 г. исследовательские группы Университета Женевы и концерна «Корнинг инкорпорэйтед» добились передачи квантового ключа на расстояние в 307 километров по оптоволокну. В 2017 г. канадские исследователи осуществили передачу ключа с земли на летящий самолет, а китайские ученые смогли передать сигнал через спутник между двумя наземными станциями на расстояние в 1203 километра. В Республике Беларусь активно проводятся исследовательские и инновационные работы в области квантовой криптографии, завершившиеся созданием и успешным применением систем безопасной передачи информации. В Центре квантовой оптики и информатики Института физики НАН Беларуси создана первая в СНГ волоконно-оптическая система квантовой криптографии, осуществляющая квантовое распределение ключа на основе квантового кодирования во временные интервалы.

В последние 20 лет Европа выделила на развитие квантовых технологий более 500 млн евро. А в течение двух ближайших лет планируется направить более миллиарда евро на новаторские квантово-технологические проекты в рамках исследовательской инициативы «Квантовый флагман». Первая очередь - программа «Квантера» – уже запущена. Институт физики активно вовлечен в реализацию проектов Седьмой рамочной программы ЕС и программы ЕС «Горизонт-2020». В настоящее время Институт физики входит в консорциум проекта программы ЕС «Горизонт 2020» «Микроскопия сверхвысокого разрешения на перепутанных состояниях фотонов», целью которого является создание практического образца микро-

скопа на перепутанных состояниях, генерируемых твердотельным источником сверхизлучения.

Еще одно фундаментальное свойство квантовых систем – способность находиться в суперпозиционных и неклассических коррелированных, перепутанных состояниях – дало начало принципиально новому способу так называемых квантовых вычислений, где элементарная единица информации – не бинарный бит, а пространство состояний двухуровневой системы – кубит. Квантовый компьютер обещает значительные преимущества над классическим и способен справляться с задачами, практически недоступными вычислительным системам, не полагающимся на квантовую интерференцию. Пока созданы лишь малые квантовые процессоры, но результаты настолько многообещающие, что даже стали предметом коммерческой технологии. Канадская компания «Ди-вэйв» с 2011 г. продает процессоры на нескольких сотнях и более кубитов. Одним из покупателей является аэрокосмическая корпорация «Локхид Мартин», приобретающая один из первых 128-кубитных процессоров за 11 млн долларов. Много исследовательских групп по всему миру занято поиском оптимальных схем для квантового компьютера и материальной базы для него. Специалистами Института физики НАН Беларуси было впервые предсказано, что парамагнитные центры окраски в нанокристаллах алмаза (NV-центры) – перспективный материал для реализации твердотельных носителей кубитов. Кроме того, ученые института активно участвуют в работах по созданию материальной базы квантового компьютера на основе центров окраски в тесном взаимодействии с учеными из Германии, Франции, Российского квантового центра «Сколково», Объединенного института ядерных исследований – Дубна, Московского государственного университета и т.д.

В целом можно с уверенностью сказать, что в Беларуси имеется представительный ряд ученых, научных коллективов и лабораторий, активно развивающих квантово-оптические технологии, тесно сотрудничающих с зарубежными партнерами как из стран СНГ, так и из других стран. Отечественными исследователями получены важные, признанные на международном уровне



результаты, например в области квантовых измерений и сверхточной диагностики, которые уже нашли свои практические приложения.

По масштабам влияния на человеческое общество создание лазеров и последовавшее за этим бурное развитие и использование оптики и оптоэлектроники во всех сферах деятельности можно сравнить с открытием атомной энергии и освоением космоса. По заключению Европейской комиссии, фотоника и лазерные технологии являются локомотивом инновационного развития экономики. Объем мирового производства лазеров за последние 10 лет удвоился и на 2017 г. прогнозируется на уровне свыше 11 млрд долларов. По словам главы известной компании «Решения в Биофотонике» Кийоми Монро, фотоны являются новым «топливом» нынешнего века – драйвером новых эффективностей в обработке материалов, обеспечивающих поразительные прорывы в медицине и материаловедении, новые технологии в возобновляемых источниках энергии и инфраструктурные изменения в телекоммуникациях, ведущих к глобальной трансформации нашего общества.

Лазерные технологии становятся базовыми в авиации, машино-, авто-, вагоно- и судостроении; перспективы их использования проявляются в мосто- и трубостроении, в строительстве. Эти тенденции просматриваются во всех ведущих индустриальных странах мира – США, Японии, Германии, Великобритании, Франции, Китае, Индии, России. Лазерное технологическое оборудование занимает сегодня более 12 % мирового рынка обрабатывающих установок (в стоимостном выражении), причем эта доля достаточно быстро увеличивается.

Среди ключевых направлений инноваций в лазерных технологиях можно выделить следующие:

- лазерная микрообработка материалов (микромашининг), в том числе с использованием лазеров ультракороткой длительности;
- волоконные лазеры высокой мощности, обеспечивающие киловаттные мощности в одномодовом режиме генерации и сотни киловатт в многомодовом режиме;
- лазеры высокой мощности на тонком диске для технологических применений;
- лазерные аддитивные технологии (лазерная 3D-печать), включая лазерную стереолитографию, селективное лазерное спекание и прямое лазерное спекание металла, которое, в отличие от недорогих струйных 3D-принтеров, обеспечивает пространственное разрешение (точность) печати на уровне 1 мкм и выше;

- лазерные лидары для систем навигации автомобилей без водителя, а также дронов и автономных промышленных роботов;
- лазерные системы для проточной цитометрии, когерентной томографии и косметических применений в биомедицине;
- системы лазерно-плазменной спектроскопии для атомно-эмиссионного экспресс-анализа состава различных материалов;
- лазерная цифровая киноиндустрия, в том числе цветные 3D-лазерные проекторы;
- лазеры с накачкой солнечным излучением, а также использование лазерных технологий в солнечной энергетике («фотовольтаике»);
- лазерные диоды и твердотельные лазеры видимого диапазона, открывающие путь к новым технологиям в медицине и обработке информации;
- лазеры для оптических телекоммуникаций со скоростью передачи информации 100 G (100 Гб/сек на 1 канал).

В фотонике, лазерной физике, нелинейной оптике и спектроскопии белорусскими учеными в последнее десятилетие получен ряд результатов, имеющих мировой приоритет. Среди них уникальные методики измерений квантовых состояний слабых оптических полей, новые лазерные, нелинейно-оптические и метаматериалы, полупроводниковые гетероструктуры для генерации ультрафиолетового излучения, новые методы атомной эмиссионной спектроскопии и комбинационного рассеяния, новые материалы для нанофотоники, уникальные методы лазерной терапии. На их основе созданы или создаются оптико-волоконные системы квантовой криптографии, мощные, в том числе с диодной накачкой, фемтосекундные лазеры, оптические когерентные томографы для медицинских и технических приложений, новые методы, аппаратура и программное обеспечение для комплексного (спутниковые, авиационные и наземные данные) оптического, лазерного лидарного и радиометрического зондирования атмосферы, твердотельные лазеры, в том числе с диодной накачкой и нелинейно-оптическими преобразователями для получения излучения в УФ, видимой и инфракрасной областях спектра, оптические и лазерные системы для специальных применений, терагерцовое оборудование для бесконтактной диагностики и идентификации различных материалов, фототерапевтические аппараты для лечения заболеваний человека, безэталонные приборы для лазерного эмиссионного анализа материалов, оборудование

для производства фотовольтаических элементов с повышенным КПД, лазерное оборудование для применения в машиностроении и многое другое.

В ближайшей перспективе в области фотоники с учетом имеющихся заделов предполагается, с одной стороны, усилить и сделать более многоплановым сотрудничество с реальным сектором экономики страны: с Минпромом Республики Беларусь (создание аналитического и прецизионного оптического измерительного оборудования, диагностических комплексов, лазерных технологических установок), с Минздравом (новое лазерное терапевтическое и хирургическое оборудование и технологии), с коммунальными и дорожными отраслями (высокоэффективная светотехника), а с другой – организовать при Национальной академии наук мелкосерийное производство дорогостоящего научного и технологического оборудования, основанного на последних достижениях и ноу-хау отечественных ученых и имеющего спрос за пределами нашей страны. Особое внимание при этом будет обращать на информационное обеспечение функционирования такого оборудования. Должное внимание будет уделяться развитию исследований в области микро- и оптоэлектроники, практическому внедрению полученных результатов с учетом имеющейся в республике микроэлектронной промышленности, а также большого потенциала применения оптоэлектронных систем в других отраслях экономики.

Хотелось бы также отметить необходимость развития в Беларуси космических исследований. Мы имеем собственное производство целевого оптического оборудования для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), собственный спутник ДЗЗ и все необходимые службы для управления им и получения космической информации. Накоплен уникальный опыт по обработке космических снимков. С учетом изменений климата (наводнения, засухи, пожары, смерчи и т.д.) и требований национальной безопасности на повестке дня стоит вопрос о создании спутника ДЗЗ с более высоким пространственным разрешением, что позволит изготавливать наиболее точные топографические карты, обеспечивать информацией сельское хозяйство для развития точечного земледелия, прогнозирования урожайности, на новый уровень поднять использование лесных угодий и лесовосстановление, получать оперативную информацию с сопредельных территорий. С национальной безопасностью непосредственно связаны и работы по созданию систем идентификации и прослеживаемости товаров, изготавливаемых в

Беларуси, поступающих в нашу страну или следующих транзитом через нее. Отдельные части этой системы уже существуют. Запланировано всемерное расширение и дополнение ее, что позволит предотвратить поступление в республику контрафактной и некачественной продукции (например, лекарств и продуктов питания) и увеличить возможности Беларуси как транзитного государства. Следует отметить, что система идентификации и прослеживаемости товаров представляет собой уникальный пример совместного использования информационных, микроэлектронных, оптических и радиоэлектронных технологий.

В условиях перехода к четвертой промышленной революции, часто называемой Индустрия 4.0, вклад ученых в решение экономических и социальных задач становится весьма существенным. В этой связи, на наш взгляд, имеются четыре проблемы, требующие своего решения.

Во-первых, поиск одаренных творческих личностей, начиная со школы, создание условий для их роста и развития. Для этого целесообразно создавать специализированные классы с конкурсным отбором в них школьников, их будут курировать университеты и академические НИИ.

Во-вторых, необходима специализированная углубленная подготовка студентов для работы в науке. Имеется опыт в США, Англии, Франции, Японии, когда она осуществляется в ограниченном числе наиболее престижных вузов, выпускники которых становятся известными учеными, в том числе лауреатами Нобелевских премий. Нам нужен такой университет с собственной программой, сочетающей получение углубленных знаний по избранным специальностям с научной работой, изучением нескольких иностранных языков. Наиболее целесообразно создать такой университет при НАН Беларуси.

В-третьих, следует коренным образом изменить положение науки в обществе, сформировать положительное отношение к ней.

Наконец, в-четвертых, нужно создать прозрачную и простую «инновационную» законодательную базу, обеспечивающую, с одной стороны, быстрое внедрение научных результатов, а с другой – допускающую степень риска в этом процессе.

В заключение хотел бы подчеркнуть, что ученые Отделения физики, математики и информатики НАН Беларуси видят свою задачу в систематическом получении результатов фундаментальных и практико-ориентированных исследований мирового уровня и обеспечении на этой основе вклада в инновационное развитие отечества.