

ФИЗИКА НАШИХ ДНЕЙ

БУДУЩЕ ФИЗИКИ *)

53

Ф. Дайсон

Многие физики в ближайшем будущем могут перенести свое внимание в область молекулярной биофизики, астрономии пульсаров и к проблемам, связанным с загрязнением окружающей среды, в точности так же, как многие стали заниматься радиоастрономией и техникой счетных машин двадцать пять лет назад.

Какой физикой мы будем заниматься в период от наших дней до конца века? Я не мог избавиться от этой настойчивой мысли, когда совсем недавно в Принстоне происходило торжественное открытие двух новых зданий, предназначенных для физиков; я раздумывал над тем, чем собственно будут заниматься все эти люди, присутствующие в новом здании, в течение своей трудовой жизни?

Дальше будут изложены мои размышления по этому поводу. Я попробую заглянуть в будущее тридцать лет физики, не избегая весьма спорных рассуждений, но тем не менее сосредоточив свое внимание главным образом на практических задачах, которые уже встали во весь рост сегодня. В моих замечаниях неизбежно будет проступать букет из моих собственных мыслей и взглядов, господствующих в Принстоне, однако я убежден, что высказываемые идеи применимы ко всем и повсюду.

Не пытаясь охватить всего того, что происходит в корпусах, отведенных для физики, я займусь исключительно исследовательскими проблемами и вовсе не буду касаться вопросов обучения. Само собой разумеется, что следует отдать предпочтение тем областям исследований, которые привлекают к себе студентов и дадут им возможность активно участвовать в научных исследованиях. В большинстве случаев, когда я буду пропагандировать то или иное научное направление, это будет так или иначе связано с этой идеей. У меня есть и некоторые иные соображения, по которым не следует забывать и другие проблемы; эти соображения станут ясными по ходу дела.

Я сделаю основной упор на экспериментальные исследования и почти не буду касаться теории. И это вовсе не потому, что я считаю теорию

*) Freeman J. D y s o n, The Future of Physics, Phys. Today 23 (9) (1970). Перевод В. А. Угарова.

Публикацией этой статьи редакция продолжает обсуждения вопросов, связанных с развитием физики в ближайшем будущем. В январском выпуске (1971 г.) этой же теме была посвящена статья В. Л. Гинзбурга.

не очень существенной. Стройная теория, сочетающая математическую красоту и физическую истину — это и есть конечная цель всех наших усилий, предпринимаемых в области физики. Но если теории являются конечным продуктом науки, эксперименты составляют ее движущую силу.

СТРАННАЯ КОМПАНИЯ В КЕМБРИДЖЕ

Я начну с одного примера из прошлого, из которого видно, что предвидение на тридцать лет вперед иногда не только возможно, но может даже оказаться чрезвычайно плодотворным. Когда я был в числе студентов Кембриджского университета в Англии, двадцать четыре года назад, большинство моих друзей-физиков клялись на чем свет стоит имя сэра Лоуренса Брэгга, тогдашнего директора Кавендишской лаборатории. Брэгг стал директором лаборатории в 1938 г., год спустя после смерти Эрнеста Резерфорда. В течение короткого междуцарствия Кавендишская лаборатория начала разваливаться с необыкновенной быстротой. Во времена Резерфорда это был мировой центр физики высоких энергий; правда, «высокие энергии» в те времена означали энергии что-нибудь около сотни киловольт. Когда Брэгг принял командование кораблем после кораблекрушения, двое самых блестящих молодых людей из плеяды сотрудинок Резерфорда — П. М. Блеккет и Джеймс Чадвик — уже покинули лабораторию. Они получили кафедры в других университетах, где начали создавать свои собственные экспериментальные школы. Лидирующее положение в физике высоких энергий несомненным образом перешло к Беркли. К ужасу всех тех, кто еще остался в Кембридже, Брэгг не предпринимал ни малейших усилий, чтобы восстановить былую славу Кембриджа. Он не очень интересовался постройкой новых ускорителей. Брэгг был не слишком общителен; он восседал в своем кабинете в Кавендише и любил повторять: «Мы здорово обучили весь мир, как надо заниматься ядерной физикой. Давайте теперь покажем им, как нужно заниматься чем-то новеньким».

Люди, которых поддерживал Брэгг, составляли довольно странную компанию; они делали такие вещи, о которых приверженцы физики высоких энергий едва ли могли бы сказать, что это физика. Среди этой компании был Мартин Райл, который прихватил с войны целую платформу различного хлама — всякой электроники и батарей — и пытался использовать его, чтобы обнаружить небесные радиоисточники. Среди них был также Макс Перутц, который к тому времени посвятил уже десять лет рентгеновскому анализу структуры молекулы гемоглобина; он, между прочим, довольно бодро заявлял о том, что в ближайшие пятнадцать лет он этот самый гемоглобин получит. Был там также совсем ненормальный человек по имени Фрэнсис Крик, который, как всем казалось, и вовсе утеряти всякий интерес к физике. Как и большинство моих друзей-теоретиков, я решил что мне нечему учиться у этой цирковой труппы и отправился в Америку, чтобы быть в том самом месте, где все еще продолжают заниматься настоящей физикой.

Семь лет спустя Брэгг покинул Кавендиш. К тому времени всем уже было ясно, что его слова о том, что он собирается показать всему миру, как нужно делать кое-что другое, не были пустым хвастовством. Он оставил Кембридж в состоянии бурной деятельности; Кембридж стал первоклассным международным центром исследований в двух направлениях, которые по меньшей мере были столь же значительны, как физика высоких энергий в предыдущий период. Речь идет о радиоастрономии и молекулярной биологии¹. Ни одно из этих научных направлений не имело даже собственного названия, когда Брэгг вступил в 1938 г. на свой пост.

К 1953 г. скрупулезно картированные Райлом небесные радиоисточники уже служили надежным справочником для астрономов всего мира. Самые необъятные и загадочные источники энергии во Вселенной — радиогалактики и квазары — носят названия типа 3С 9 или 3С 273, причем буква С означает Кембридж (Cambridge). К 1953 г. дела тех, кто занимался молекулярной биологией в Кембридже, шли также неплохо. Мне совсем необязательно рассказывать здесь о том, как они раскрыли структуру ДНК. Всякий, кто заинтересуется тем, что значило заниматься молекулярной биологией в Кембридже в 1953 г., может прочитать книгу Джеймса Уотсона «Двойная спираль»². Очень многие резко возражали против той манеры, в которой написана эта книга, но вряд ли кто-нибудь, прочтя эту книгу, стал бы всерьез утверждать, что в Кембридже в 1953 г. наблюдался интеллектуальный застой.

Не в пример Резерфорду, Брэгг вовсе не оставил после себя распадающуюся империю. Наоборот, за те семнадцать лет, которые прошли после его отставки, сложившийся научный коллектив в Кембридже, занятый как молекулярной биологией, так и радиоастрономией, продолжал успешную деятельность, несмотря на возрастающую конкуренцию извне. Я потерял счет своим старым друзьям из Кембриджа, получившим Нобелевскую премию. А два года назад радиоастрономы из группы Райла снова показали, что они по-прежнему находятся впереди всех — именно они открыли первые пульсары. Мне приятно думать, что в свои восемьдесят лет Брэгг все еще находится в хорошей физической и интеллектуальной форме и может радоваться последним успехам своих протеев.

Эта история последних тридцати лет Кембриджа несколько упрощена. Возможно, я заимствовал слишком много из заслужившей успех книги Горацио Алжера. Но я убежден в том, что из этой истории для нас вытекают сегодня весьма важные выводы. В чем состоят эти выводы? Давайте задумаемся над тем, как удалось Брэггу столь успешно выбраться из ситуации, которая в 1938 г. казалась катастрофической. Я думаю, что он преодолел критическую ситуацию, следуя трем правилам запрета. Вот они:

- а) Не следует пытаться возродить былую славу.
- б) Не следует заниматься чем-то только потому, что оно самое модное.
- в) Не следует обращать внимание на насмешки и высокомерие теоретиков.

Брэгг жестко придерживался этих правил. Но дело, конечно, не только в них. На него работали еще некоторые другие положительные обстоятельства. Он работал в рамках старой европейской системы, которая наделяла директора лаборатории властью делать то, что он хочет, не очень-то считаясь с возражениями своих коллег. Он действовал по большей части в то время, когда в условиях военного времени многие обычные бюрократические ограничения фактически были сняты. Кроме того, ему здорово повезло. Но удача такого масштаба никогда не приходит дважды к человеку, если он этого действительно не заслуживает.

ПРИНСТОНСКИЕ МЕМУАРЫ

Я думаю, будет вполне справедливо сказать, что в Принстоне последние тридцать лет прошли не столь успешно, как это было у Брэгга. Говоря только о том месте, где я работаю — Институте усовершенствования, — я могу сказать, что мы очень высоко ценили первое правило Брэгга — не пытаться возрождать былую славу. С 1946 г. у нас не было профессора, занятого вопросами общей теории относительности. Нам казалось совершенно неразумным надеяться на то, что у нас найдется кто-то из

специалистов в этой области, равный по своим возможностям Эйнштейну. Что касается второго правила — не делать самых модных вещей, — то мы придерживались его умеренно. Правда, мы всегда находили место для кого-то из совсем немодных людей, вроде Джо Вебера, однако безумно высокий процент выходящих от нас работ приходился на крайне модную область физики частиц, и, с моей точки зрения, эти работы ничем не отличались от продукции еще двадцати других институтов теоретической физики.

Если говорить о третьем правиле — не бояться насмешек снобов, то мы его, к сожалению, почти забыли. Самая оригинальная, абсолютно немодная и вместе с тем стоящая вещь, которая была сделана в институте после ухода Эйнштейна, — это проектирование и создание Джоном Нейманом прототипа электронной счетной машины (the Maniac). Десять лет после окончания второй мировой войны группа Неймана была лидирующей группой всего мира в вопросах, касающихся усовершенствования и использования электронных счетных машин. По-своему, это была столь же выдающаяся вещь, как молекулярная биология или радиоастрономия. Но снобы нашего института не могли выносить около себя инженеров-электриков, которые своими грязными руками оскверняли академическую чистоту научной атмосферы. У Неймана, как и у Брэгга, было достаточно сил, чтобы противостоять этой оппозиции. Но когда Нейман трагически погиб, снобы взяли полный реванш и сумели ликвидировать с корнем все программы счетных машин.

Меня не покидает ощущение того, что кончина нашей исследовательской группы счетных машин была трагедией не только для Принстона, но и для всей науки в целом. Это означало, что в самый критический момент в 1950 г. просто не существовало академического центра, где люди, так или иначе связанные с вычислительными машинами, могли бы общаться на самом высоком интеллектуальном уровне. Поле боя, оставленное нами, было немедленно занято ИВМ *). Хотя нет спора о том, что ИВМ во многих отношениях прекрасная организация, нет никаких оснований ожидать, что она может обеспечить ту неповторимую атмосферу интеллектуального богатства, которая была создана здесь в свое время Нейманом. У нас была счастливая возможность иметь такую замечательную обстановку, но мы сами пустили ее по ветру.

Но хватит о прошлом. Что же нас ждет в будущем? Я был очень огорчен, когда наши планы, касающиеся счетных машин, рухнули, потому что в этих проектах было нечто уникальное, опережающее свое время. Должен признаться, что я куда в меньшей степени был огорчен, узнав недавно о том, что мы отказываемся в будущем году от Принстонско — Пенсильванского ускорителя. Это вовсе не означает, что я нахожу садистическое удовольствие в неприятностях своих друзей. Но я убежден в том, что лишившись ускорителя, Принстон окажется в некотором отношении в положении, очень похожем на то, в каком оказался Кембридж в 1938 г. Лидером физики на ускорителях окажется Батавия, как в свое время им оказался Беркли. Ну, а мы получим удачную возможность заняться чем-то другим.

В Принстоне сохраняется великолепная традиция не впадать в крайнюю специализацию. Конечно, мы не оставим полностью физику высоких энергий только потому, что мы оказались без ускорителя. Именно поэтому я начну свои прогнозы на будущее с попытки предсказать, что же может произойти с физикой высоких энергий в ближайшие тридцать лет.

*) Крупнейшая корпорация «International Business Machine».

УСКОРИТЕЛИ И КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

Есть два основных способа заниматься физикой высоких энергий. Путь, по которому идут состоятельные люди, состоит в строительстве ускорителей, обеспечивающих пучки частиц высокой интенсивности со строго контролируемой энергией. Люди победнее могут пользоваться космическими лучами, которые нисходят с небес как дождь в равной мере на состоятельных и бедных, но имеют крайне низкую интенсивность и абсолютно неконтролируемую энергию. Я думаю, что существует большая вероятность того, что главные открытия будущего тридцатилетия в области физики высоких энергий будут сделаны скорее в экспериментах с космическими лучами, чем на ускорителях. Вот почему я беру на себя смелость сказать, что для нас, возможно, не так уж плохо, имея в виду научные интересы, быть бедными.

Вполне может быть, что я ошибаюсь в своих надеждах на физику космических лучей. Продвижение в любой области научных исследований всегда связано с риском. Однако в этом случае, как я надеюсь, этот риск имеет за собой достаточно разумные основания.

Ускоритель, на котором достигается в настоящее время наибольшая энергия частиц, — это ускоритель в Серпухове. Он позволяет достигать энергий в 70 Гэв. На машине в Батавии удастся превзойти эту цифру; она будет по крайней мере в шесть раз больше, когда ускоритель начнет действовать в 1971 г. Грубо говоря, весь эффект от грандиозных денежных затрат и немалых человеческих усилий в Батавии сводится к тому, чтобы подвинуть область энергий, доступных физике, вверх на одну степень десятки от десятков Гэв, которыми мы обладали в 1970 г.

Мы все искренне надеемся, что Природа предложит нам новые очень важные явления, которые мы сможем обнаружить, продвинувшись по энергиям именно на эту степень десятки. Если выяснится, что Природа именно так и поступила, те усилия, которые были затрачены на строительство ускорителя, окажутся вполне оправданными. Если же окажется, что именно в этом новом доступном интервале энергий нет никаких фундаментально новых явлений, построенная машина окажется просто монументальной безделушкой. Я не стану держать пари на то, что же окажется на самом деле. Но я уверенно могу сказать, что перспективы на отдаленное будущее, связанные с работой на ускорителях в таком стиле, отнюдь не блестящи. Даже в том случае, если оправдаются самые оптимистические предположения относительно ускорителя в Батавии и мы неожиданно откроем новый волнующий мир явлений в области энергий вблизи сотни Гэв, тем не менее мы все равно наталкиваемся на закон резко убывающей отдачи. Сделать существенный шаг в науке, чтобы превзойти ускоритель в Батавии — это значит перейти в область энергий порядка тысяч Гэв, но это одновременно означало бы переход в область расходов порядка тысяч миллионов долларов. Если не появятся существенные улучшения в технике строительства ускорителей, машина в Батавии может оказаться последним звеном в ряду действующих ускорителей на достаточно продолжительное время.

Совсем не так обстоит дело в области исследования космических лучей. В космических лучах имеется значительное число свободных частиц с энергиями порядка 10^{15} эв, т. е. в тысячу раз больше, чем энергия частиц, которую можно достичь на ускорителе в Батавии. Проблема заключается в создании детекторов, которые могут выделить явления, происходящие при экстремальных энергиях. В прошлом — поскольку исследованиями космических лучей занимались преимущественно бедные люди — детекторы были по большей части весьма примитивны и совсем уж непригодны

для проведения количественных экспериментов в области физики высоких энергий. На ускорителях за последние двадцать лет удалось получить столь значительные физические результаты только потому, что люди, работавшие на ускорителях, вложили грандиозные усилия в создание пузырьковых и искровых камер, линейных счетных машин и других весьма сложных детектирующих приборов. Мне кажется, что лучший способ продвижения в область физики высоких энергий в ближайшие тридцать лет — это начать рассматривать космические лучи с той же богатой фантазией и с той же долей мании величия, какие были столь характерны для ведущих лабораторий, где работали ускорители. Действовать с космическими лучами в таком стиле отнюдь не дешево, но эти расходы не идут ни в какое сравнение с расходами на строительство новых ускорителей. Исследования такого сорта разумнее проводить силами университетских лабораторий, чем в рамках национальных лабораторий.

Такая оценка будущего физики высоких энергий основывается на некоторой философской точке зрения, весьма отличной от точки зрения некоторых рьяных защитников ускорителей. Мне приходится слышать разговоры некоторых энтузиастов строительства ускорителей; из этих разговоров можно было понять, что энтузиасты всерьез ожидают, что вступление в строй еще одного ускорителя и измерение нескольких сечений позволят разрешить все загадки природы, не раскрытые до сих пор. Но я совсем не верю в то, что замыслы Всевышнего можно прочесть столь простым способом. Весь наш опыт, накопленный физикой высоких энергий до сих пор, показывает, что каждый раз, когда мы расширяем наблюдаемую область энергий, встают новые проблемы и возникают новые сложности, которые снова нужно распутывать. Я испытал бы чувство разочарования и вынужден был бы признать, что творцу определенно нехватало творческого воображения, если бы оказалось, что в обширных пределах за значениями энергий, доступных ускорителям, нет ничего неожиданного и интересного. Мой философский подход к физике довольно близок к точке зрения Джузеппе Коккони (ЦЕРН), великолепно изложенной им в недавно появившейся статье³ «Роль сложности в природе». Как и Коккони, я надеюсь и верю в то, что мир высоких энергий окажется неисчерпаемым, точно так же как и астрономический мир — Вселенная и мир чистой математики.

АКТИВИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Чем еще может заняться физик, кроме изучения космических лучей? Одна из возможностей состоит в том, чтобы присоединиться к тем, кто пытается бороться с загрязнением окружающей среды. Я сам занимался этим делом и целый месяц работал вместе с профессором, инженером по санитарии. Он обучил меня всему, что касается BOD (Biological Oxygen Demand), т. е. биологическим требованиям к содержанию кислорода в воздухе, и познакомил со способами активирования загрязнений. Это было очень забавно, а сотрудники профессора, с которыми я сталкивался, были куда остроумнее большинства физиков, с которыми я знаком. Я посоветовал бы всякому физику, который действительно заинтересован в поддержании нормальных условий жизни, отыскать время и выяснить, какие проблемы сейчас встают в связи с активированием загрязнений. Он быстро обнаружит, может ли он сам внести некий полезный вклад в разрешение этих весьма насущных задач.

Отдельный физик, работая в тесном контакте с инженерами, химиками и биологами, безусловно, может много дать для этих вопросов в целом. Однако он не должен забывать, что все, что он может сделать

для поддержания должного состояния окружающей среды, будет в основном определяться не только физикой. Если физик будет достаточно осмотрительным, он использует свои знания по физике только как некоторую «культурную основу» для обсуждения проблем, которые по своей природе являются все-таки в первую очередь химическими, биологическими и даже политическими. Поэтому я считаю, что было бы ошибочным для физических факультетов университетов полностью заниматься проблемами окружающей среды. Борьба с загрязнением — великолепное поле деятельности для отдельного физика, входящего в некоторую группу из представителей смежных дисциплин. Однако такая деятельность вряд ли может быть главной деятельностью физического факультета. Факультет, полностью переключившийся на деятельность по борьбе с загрязнением только потому, что это ужасно модно, очевидным образом нарушает вторую из трех заповедей Брэгга.

ДЕРЖАТЬ ТЕСНУЮ СВЯЗЬ С БИОЛОГИЕЙ

Я мог бы указать по крайней мере одно конкретное направление, в котором физика могла бы развиваться и приносить плоды в ближайшие тридцать лет. Здесь налицо небольшое число полуоформившихся идей, которые, как мне представляется, окажутся весьма важными в будущем. Если бы я был физиком-экспериментатором, именно в этом направлении я и попытался бы действовать.

Я считаю очевидным, что физика не может успешно развиваться, если она изолирована от остальных наук. В частности, физика должна быть в тесном контакте с биологией, поскольку биология скорее, чем физика, окажется той самой наукой, в которой будет самый заметный прогресс в оставшиеся годы нашего XX века. Брэгг понимал это уже в 1946 г., когда давал свои деньги Перутцу на рентгенографический анализ гемоглобина, отдавая предпочтение этим вопросам перед строительством новых ускорителей. Я думаю, остается верным и сейчас, как это было в 1946 г., что существует великолепная возможность сделать существенные успехи в микробиологии с помощью физической техники. Весьма претенциозная заявка была сделана в программе⁴, выдвинутой Окриджской Национальной лабораторией.

Биохимики выяснили, что большие молекулы, доминирующие в основных процессах жизнедеятельности, обладают простой структурой. Эти молекулы бывают двух сортов — образованные из протеиновой и нуклеиновой кислот; молекулы обоих сортов образуют линейные цепочки. Протеин представляет собой длинную цепочку, образованную отдельными единицами, каждая из которых является нуклеотидом. Хотя цепочки протеиновой и нуклеиновой кислот скручены и замотаны в клубки весьма запутанным образом, когда они находятся внутри живых клеток, по-видимому, их свойства однозначно определены последовательностью единиц вдоль цепочки.

До сих пор структуру этих молекул можно было определять двумя путями. Один из этих путей состоит в применении рентгеновской кристаллографии; именно этот метод применил Перутц, исследуя гемоглобин, и именно этим методом Крик и Уотсон открыли двойную спираль. Другой путь чисто химический; он состоит в воздействии различных реагентов на молекулы с целью разделить эти молекулы на части; фрагменты молекул анализируются затем с помощью хроматографического метода. В конце концов делается заключение о последовательности единиц в исходной молекуле по тому, как могут перекрываться отдельные фрагменты. Оба эти метода были успешно использованы для протеинов и для небольших

нуклеиновых кислот. За последние годы оба эти метода были радикально усовершенствованы, так что структура молекулы протеина типа гемоглобина, потребовавшая у Перутца двадцать пять лет для анализа, может быть найдена менее чем за год. Однако обоим методам присущи два фундаментальных дефекта, которые, по-видимому очень трудно преодолеть. Во-первых, оба метода предполагают макроскопические количества исследуемых молекул без примесей, тогда как большинство биологически важных молекул встречается в виде незначительных следов в «каше» из весьма близких к ним молекул. Выделить нужные молекулы из такой «каши» — дело весьма сложное. Во-вторых, оба метода отказывают в случае больших молекул нуклеиновых кислот, которые как раз наиболее интересны из всех остальных молекул, потому что они имеют фундаментальное значение для механизма наследственности.

Ситуация для физика здесь крайне заманчивая. С одной стороны, здесь выращен необычайно богатый урожай биологических открытий, ожидающий, того, чтобы нашелся человек, способный собрать его; этому человеку предстоит установить последовательность единиц в отдельной протеиновой молекуле или молекуле нуклеиновой кислоты, не нуждаясь в жалкой процедуре химического очищения макроскопического образца. С другой стороны, техническая проблема установления последовательности единиц в отдельной молекуле, когда известно, что молекула линейная, представляется в свете современных физических методов вполне доступной и даже сподручной для реализации. В основном проблема состоит в сортировке и подсчете тех единиц, из которых построена молекула; по сортировке и подсчет — как раз те самые операции, которые умеют производить специалисты по физике элементарных частиц.

ЛОВЛЯ РЫБЫ, СОРТИРОВКА И ПОДСЧЕТ

Пожалуй, я попробую более подробно объяснить, каким мне представляется тот возможный способ, с помощью которого можно взяться за проблему. Допустим, например, что кто-то захотел установить точную последовательность нуклеотидов в молекулах ДНК, образующих генетический материал живых клеток. Прежде всего ему понадобится придумать способ вылавливания отдельных молекул ДНК. Потребуется удалять молекулу из водной среды и сохранять ее в вакууме, не разрушая ее. Потребуется прочно закреплять молекулу на одном месте жесткой подложки, а остальную часть молекулы растягивать в прямую линию с помощью электрического поля и свободно подвешивать в вакууме. Придется отделять нуклеотидные единицы, последовательно одну за одной со свободного конца цепи; именно этот шаг является решающим и, вне всякого сомнения, самым трудным. Затем нужно ионизовать выделенные единицы, чтобы их можно было анализировать в масс-спектрометре. Финальная операция оказывается самой простой: масс-спектрометр отсортировывает ионизованные единицы по четырем каналам: «аденины», «цитозины», «гуанины» и «тимины»; счетчики каждого канала фиксируют автоматически последовательность, в которой поступают отдельные единицы.

Ключевым вопросом анализа в таком стиле является развитие техники обращения с большими молекулами в условиях вакуума, причем так, чтобы вы точно знали, где эти молекулы находятся. Я не имею ни малейшего представления о том, как это можно сделать, но я совсем не удивился бы, если бы кто-то научился это делать в ближайшие десять лет. Скорее всего, это сможет сделать физик с достаточно разнообразными навыками, чтобы преодолеть химическую идиосинкразию нуклеотидов, в сочетании с физикой частично влажных поверхностей.

Если установление последовательности единиц в отдельных молекулах станет возможным физическими методами — тем ли способом, какой и описал, или каким-либо другим, — следствия этого будут поразительными. Дело не только в том, что значительно более широкий класс важнейших молекул будет просматриваться с точки зрения последовательности его единиц. Сам процесс установления последовательности единиц окажется чрезвычайно быстрым, если только, конечно, он окажется доступным вообще. По любому из двух существующих методов выяснение последовательности единиц одного протеина является крупной программой, по которой нужно содержать целую команду талантливых людей, занятых в течение целого года и даже более того. В противоположность этому можно представить себе комплекс физической аппаратуры, которым разделяют и сортируют нуклеотидные единицы со скоростью много-много единиц в секунду; таким образом гигантская молекула ДНК может быть проанализирована в течение часа.

Трудно представить себе, чтобы в процессах, имеющих дело с индивидуальными молекулами, было бы какое-либо преимущество в медленном темпе работы. Однако увеличение скорости анализа вызвало бы подлинную революцию в микробиологии. Одна-единственная лаборатория могла бы устанавливать последовательность единиц тысяч больших молекул в год вместо двух или трех, как это возможно сейчас. Вполне разумно подумать о том, чтобы приступить к проблеме всей живой клетки и установлению последовательности образующих ее протеиновых и нуклеиновых кислот. Я не претендую на то, чтобы предвидеть, что будут делать биологи со всей этой информацией. Сделав самые скромные предположения, можно надеяться, что они узнают нечто интересное о раке, если они смогут детально сравнить строение клетки, пораженной раком, со строением здоровой клетки этого же самого животного.

НО РАЗВЕ ЭТО «НАСТОЯЩАЯ ФИЗИКА»?

Некоторые из вас могут возразить по поводу такого стиля исследований, сказав, что это, быть может, настоящая биология, но совсем не физика. Именно это многие из нас говорили о Брэгге и Перутце в 1946 г. Я знаю теперь, как глубоко мы заблуждались. Идея о том, что физик должен заниматься чистой физикой, чтобы быть настоящим физиком, что деятельность на границе между физикой и биологией ниже достоинства «настоящего» физика — была ошибочной в 1946 г. и остается ошибочной по сей день. Недавно появившаяся статья Вильяма Спона⁵ называется: «Можно ли спасти математику?»; она вызвала волнение среди математиков. Основное утверждение Спона состоит в том, что пуристы (приверженцы чистой математики), заседавшие в большинстве математических институтов, добились такого полного отчуждения математики от всей человеческой культуры, что математика уже оказалась под угрозой стать абсолютно бесплодной. Многие из того, что сказано там, сохранит свою силу и в том случае, если слегка изменить название статьи, написав «Можно ли спасти физику?» и читать «физика высоких энергий» вместо «математика». По моему мнению, самый верный способ спасти физику от катастрофического застоя или упадка в течение ближайших тридцати лет — это обеспечить молодым физикам поле деятельности на границах физики, там, где физика перекрывается с другими науками, такими, как астрономия и биология.

Я только что описал один из возможных примеров деятельности такого типа — анализ гигантских молекул разделением их на части физическими методами. Нетрудно придумать и другие примеры. Одна

из возможностей, широко обсуждавшаяся среди тех, кто занимается молекулярной биологией, состоит в развитии техники электронной микроскопии. Эту технику желательнее довести до такого состояния, когда структура отдельных молекул станет непосредственно наблюдаемой. Не исключено, что таким путем удастся производить анализ гигантских молекул без их разрушения, столь же всесторонне и быстро, как это происходило бы при анализе с разделением молекулы на части, о котором я уже упоминал.¹

Было бы весьма не остроумно с моей стороны попытаться составить полный перечень важнейших вопросов, которыми будут заниматься физики в ближайшие десятилетия. Почти неизбежно окажется, что наиболее захватывающие вопросы будут совсем не те, на которых я здесь останавливался. Я и сам думаю, что самую волнующую часть физики в настоящий момент следует искать на границе физики с астрономией, где мы натолкнулись на удачу, которая редко нисходит к людям, — открыли пульсары. Пульсары оказались такими лабораториями, в которых можно изучать свойства вещества и излучения в условиях, в миллионы раз более экстремальных, чем те условия, которые были до сих пор нам доступны. Мы пока еще плохо понимаем, что происходит в пульсарах, но у нас есть достаточно оснований верить в то, что они и есть те самые ускорители, в которых природа создает космические лучи. Но, кроме того, чтобы поставлять космические лучи для физиков, занимающихся частицами, в течение ближайших тридцати лет пульсары явятся уникальной лабораторией, где будет возможна проверка физических теорий, перекрывающих многие разделы физики — от сверхтекучести до общей теории относительности.

Я попытался дать честную оценку тех тенденций в физике, которые я считаю правильными и ошибочными. Я совсем не смотрю мрачно на будущность физики. Я разделяю мнение сенатора Мэнсфилда о том, что снижение уровня финансовых ассигнований на науку не приведет к национальной катастрофе. Мне кажется, что только две вещи могли бы действительно быть катастрофическими для будущего физики. Одна из них осуществилась бы в том случае, если бы мы смогли разрешить все главные нерешенные проблемы. Это было бы подлинным несчастьем, но я не опасаясь, что такое может случиться в сколько-нибудь обозримом будущем. Второе бедствие настигло бы нас в том случае, если бы мы в борьбе за чистоту настолько изолировали бы себя от задач живой жизни, что ни один из одареннейших и преданных науке студентов не пожелал бы заниматься физикой. Эта вторая опасность представляется мне вполне реальной. Однако мы минуем эту опасность, если не откажемся от разнообразия в нашей деятельности, если мы будем поощрять работу, которая имеет важные применения вне физики, и кроме того, если мы будем последовательно придерживаться третьего правила Брэгга: «Не следует обращать внимание на насмешки и высокомерие теоретиков».

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. E. L. Hess, Science 168, 664 (1970).
2. Джеймс Д. Уотсон, Двойная спираль, М., «Мир», 1969.
3. G. Sossioni, in Evolution of Particle Physics (M. Conversy, Ed.), Academic Press, N. Y., 1970.
4. N. G. Anderson, J. L. Liverman, Scientific Research, May 1968, p. 37.
5. W. G. Spohn, Jr. Notices Am. Math. Soc. 16, 890 (1969).