

нает два эпизода, в которых Енукидзе и Сталин выступают своими очень характерными чертами. В Кремле, как и во всей Москве, шла непрерывная борьба из-за квартир. Сталин хотел переменить свою слишком шумную на более спокойную. Агент ЧК Беленький порекомендовал ему парадные комнаты кремлевского Дворца. Жена моя воспротивилась: Дворец охранялся на правах музея. Ленин написал жене большое увещательное письмо: можно из нескольких комнат Дворца унести „музейную“ мебель, можно принять особые меры к охране помещения; Сталину необходима квартира, в которой можно спокойно спать; в нынешней его квартире следует поселить молодых, которые способны спать и под пушечные выстрелы. Но хранительница музеев не сдалась на эти доводы. На ее сторону встал Енукидзе. Ленин назначил комиссию для проверки. Комиссия признала, что Дворец не годится для жилья. В конце концов Сталину уступил свою квартиру покладистый и сговорчивый Серебряков, тот самый, которого Сталин расстрелял 17 лет спустя».

Цитируемый текст — фрагмент воспоминания-эссе Л. Д. Троцкого об Авеле Енукидзе (секретаре Президиуме ЦИК), расстрелянном в 1937 г. Полный текст опубликован в журнале «Аврора» (1990, № 5). Несколько иной по стилистике вариант включен Л. Д. Троцким в очерк «Иосиф Сталин. Опыт характеристики» (см.: *Троцкий Л. Д. К истории русской революции*. М., 1990. С. 404—405).

Н. В. ТИМОФЕЕВ-РЕСОВСКИЙ НА СЕМИНАРЕ У П. Л. КАПИЦЫ

П. Л. Капица: Товарищи, материал, который мы прослушали, — это результат колоссальной работы, продолжавшейся 15—20 лет. Создается исключительно красивая картина для физиков, потому что здесь, по-моему, больше физики, чем биологии, так как мутация есть прекрасный индикатор физического процесса. Мы видим, что самые простые физические процессы происходят здесь так же, как они происходят в ионизационной камере в наших лабораториях. Нет никакой разницы. Это, конечно, чрезвычайно интересно. Это показывает, что такие физические законы еще очень много могут сделать в биологии. Для нас, физиков, это очень обнадеживающая вещь: значит, мы и в дальнейшем можем оказать биологам большую помощь.

Я думаю, мы будем задавать вопросы после того, как прослушаем и второй доклад.

Голоса с мест: Вопросы сейчас.

П. Л. Капица: Я думаю, что в сумме лучше. Второй доклад является естественным продолжением первого — чем же является эта предполагаемая элементарная молекула, на которую действуют излучения. Первый докладчик сказал, что в основе мутации лежит элементарный процесс, а второй докладчик расскажет, какие имеются гипотетические предположения о строении элементарной молекулы. Послушаем второй доклад и потом будем вопросы задавать. Конечно, ответить на все вопросы не удастся — чрезвычайно много вопросов было затронуто.

И. Е. Тамм: Мне кажется, сейчас чрезвычайно интересный момент в развитии биохимии и биологии. Биология, генетика открыли целый ряд существенных общих закономерностей. Установлено, что основная во всяком случае часть явлений наследственности связана с хромосомой. Надо сказать, что некоторые работы генетиков очень окольные. По очень сложным картинам наследования сложных признаков приходится заключать об элементарных актах, об элементарной структуре, скажем, хромосом, гена и т. д.

Весьма интересен вопрос относительно того, каков биохимический механизм, связанный с наследованием и с мутациями в хромосоме. Естественно, что здесь всегда искали биохимическую основу наследования, но до последнего времени положение здесь, мне кажется, было неблагоприятным, потому что представления относительно молекулярного физико-химического строения хромосом еще лет 10 или 8 тому назад были такие, что было очень трудно найти основу такого строгого наследования признаков, консервирования наследственной информации и пр. Тогда считали, что основой всех хромосом является одна из нуклеиновых кислот — дезоксирибонуклеиновая кислота, что основа хромосом всех видов почти одинакова: они состоят из очень небольших молекулярных обломков, нуклеотидов, молекулярного веса порядка 1200. Они статистически распределены. Связаны они протенинами, причем это такая рыхлая, неопределенная и довольно однотипная структура, в которой нельзя было найти отражения этих строгих закономерностей наследования. За последнее время положение, как мне кажется, резко изменилось, особенно резко с 1953 г.

Мне представляется, что можно выделить в основном четыре положения.

Сейчас установлено самыми разнообразными физико-химическими способами, в частности непосредственным рентгеноструктурным анализом, что основная кислота, я буду называть ее ДНК,

обладает чрезвычайно стройной, сложной и закономерной структурой. Молекулярный вес ее вовсе не 1200, а порядка миллионов. Она специфична для различных видов. Прямыми опытами с трансмутирующим агентом показано, что она содержит в себе признаки, которые непосредственно наследуются. С одной стороны, ее структура одинакова в общих чертах во всем живом мире, с другой стороны, можно установить, чем могут отличаться генетические сведения, записанные на этой большой молекуле, на совокупности большого числа этих молекул дезоксирибонуклеиновой кислоты, для разных видов, т. е. каким шифром, каким кодом записана эта колоссальная генетическая информация.

Далее, предложен чрезвычайно убедительный, как мне кажется, конкретный механизм, объясняющий одно из самых трудных обстоятельств: как в течение колоссального количества делений клетки сохраняются ее генотип, видовые свойства, индивидуальные свойства; каким образом она точно репродуцируется при колоссальном количестве делений.

Кроме того, сейчас можно поставить сколько-нибудь определенно другой, колоссальной важности вопрос. Если представить себе, что мы знаем, как записана генетическая информация на хромосоме, то возникает вопрос, как эта генетическая информация может быть передана, чтобы определить собой обмен веществ в организме, создание тех или иных ферментов и т. д.

Этот вопрос был поставлен Гамовым. Очень интересно, что его можно поставить. Вопрос этот отнюдь не решен. Те конкретные решения, которые дал Гамов, не соответствуют опытным данным, так что пока речь идет не о решении, а о постановке вопроса. Знаменательно, однако, что можно уже этот вопрос ставить, и не просто словесным образом. Потому что, раз он может оказаться не соответствующим опыту, то в нем уже есть какое-то реальное содержание. Другой вариант может оказаться и соответствующим опыту.

Об этом я и хотел коротко рассказать. Но прежде всего должен извиниться за то, что буду говорить о вещах, в которых я являюсь совершенным дилетантом, и знания мои в этой области в высшей степени ограничены. В ряде вещей я пытался разобраться; ряд вещей, которые мне казались второстепенными, хотя, может быть, они вовсе такими не являются, я вообще не разобрал. Экспериментальной методики я абсолютно не знаю. Собственно говоря, вы можете спросить, почему же я здесь говорю. (Смех.) Меня уговорил Петр Леонидович. (Смех.) Но какая все же была для этого основа? Основа та, что я все-таки стал этими вопросами сам заниматься. Почему? Во-первых, потому, что я понял, что в этих интересных, с общенаучной точки зрения, вещах легче, проще и быстрее самому разобраться, чем дожидаться, пока наши химики и биологи нам о них расскажут. (Смех.) Во-вторых, здесь есть вещи, непосредственно связанные с физикой. С одной стороны, громадную роль здесь сыграли очень остроумный рентгеноскопический анализ и вычисление этих сложных молекул; с другой стороны, здесь имеется тесная связь с такой только что возникшей в физике и математике научной дисциплиной, как теория информации. Кроме того, вопросы проверки разных гипотез здесь связаны с определенными математическими построениями, с проверкой... обычного статистического типа, так что здесь есть вещи, близкие физике.

Хочу подчеркнуть, что я не только не являюсь ни химиком, ни биологом, что известно, но я и не собираюсь таковым становиться, не собираюсь переквалифицироваться. Было бы очень интересно, если бы специалисты, авторитетные люди могли бы высказаться здесь по тем вопросам, которые, как мне кажется, представляют очень большой общенаучный интерес.

Сейчас я постараюсь коротко здесь эти вещи изложить. При этом я еще оговорю следующее. Даже при моем очень поверхностном знакомстве с вопросом, здесь колоссальный материал. И если делать все оговорки и рассматривать все исключения, то это займет очень много времени. Поэтому я сознательно буду излагать только основные, главные закономерности. Никаких оговорок я делать не буду. Я буду говорить, что в дезоксирибонуклеиновой кислоте имеется только цитазин, хотя там есть пять-метилцитазин, есть даже дезоксигидрацитазин. Но я не буду об этом говорить. Буду и ряд других вещей опускать. Только основные закономерности. А если будут вопросы, я постараюсь на них ответить.

В клеточное ядро всех организмов входит дезоксирибонуклеиновая кислота. Она почти только там и находится. Как она построена?

Я буду рисовать. Это проще, чем показывать картинки.

В отличие от представлений, которые были еще очень недавно, основная идея заключается в следующем. У вас есть такой жгут, на котором все распределено. Жгут состоит из сахара, фосфора... четыре кислорода ... пропущу ... (Смех.) Чисто схематически: сахар, фосфор. Вот такая вот цепь. Расстояние периода — примерно 7 ангстрем, может быть 7,5 ангстрем.

На каждом сахаре вот здесь находится вещь, которую я назову просто придатком. Здесь буква «п» имеет четыре смысла. Это собственно азотистое основание, но это придаток в том смысле, что в определенном месте он может придаваться сахару. Этот придаток химически может состоять либо из пиридинов, либо из пуринов. Опять-таки 2 раза «п». Я не буду писать формулу. Вот пиридины. Это в общем такой вот гетероцикл... Тут есть еще разные группы, метил и водороды. Я их рисовать не буду. Вот это пиридины маленькие. А здесь еще пурины. А пурины это вот тоже такой гетероцикл. Но тут еще сбоку пятичленный цикл есть. Так вот что замечательно в дезокси-нуклеиновой кислоте (я буду называть ее ДНК): во всем живом мире, начиная с одноклеточных и кончая человеком, встречаются только два пиридина, я буду называть их буквами «А» и «В» (я не буду давать их химические названия), и два пурина «а» и «в». И только. Во всем живом мире.

Разница заключается в том, как эти придатки чередуются. В каком порядке? Вообще говоря, они могут появляться в произвольном порядке. Забегая вперед, можно сказать, что гипотеза заключается в том, что различие в генетической записи на хромосоме заключается в порядке чередования этих придатков. Разница между хромосомой человека и улитки в том, что другая последовательность этих четырех букв.

Когда вы хотите записать большую информацию, вы можете идти разными путями. Китайцы создали 40 000 иероглифов. Очень легко можно было бы органическим образом построить 40 000 органически близких соединений. А счетные машины используют двоичную систему, очень простую. По-видимому, природа использует четверичную систему. Если вы напишите 0, 1, 2, 3 и сопоставите их этим четырем буквам, то каждая запись информации — это громадные числа, записанные по четверичной системе. Позвольте сразу сказать, что здесь могут быть записаны колоссальные информации. Если представить себе, что у вас только 100 звеньев, то 4^{100} — это 10^{57} . Фактически на гигантской молекуле ДНК бывает до 10 000 звеньев. Это 10^{6000} . Но это невозможно представить себе. 10^{57} — это число атомов в Солнечной системе. 10^{76} — это число атомов в том районе Вселенной, на который хватает Паломарский телескоп. А здесь 10^{6000} . Это представить себе нельзя.

Вот такая колоссальная информация может быть записана.

Это первое обстоятельство. Нужно, однако, сказать, что фактически молекула не встречается в виде такой линейной цепочки. Она встречается в виде навитого жгута. Очень интересная вещь с винтом. Я не понимаю, почему специалисты, занимающиеся структурой органических веществ, исследуя очень много разных возможных структур, не произвели анализа, расчета винтовой структуры. Первый расчет был опубликован только в 1952 г. в «Acta Crystallographica» Криком и Уотсоном. До 1952 г. никто их не рассчитывал.

Оказывается, рентгенограммы винтовой структуры обладают некоторыми характерными особенностями, которые позволяют гораздо проще определить характерные черты объекта, рентгено-структуру которого вы определяете, чем обычно, в случаях трехмерных решеток. Некоторые вещи там исключительно красиво получаются. Но я это пропущу.

Оказалось следующее. Вот эти цепи, которые я рисовал, навиты в каждой молекуле винтом. Вот такой вот винт. Следующий винт на $3/8$ расстояния. Эта одна молекула, это другая молекула. На ней расположена эта цепочка. Вот этот основной жгут состоит из сахара и фосфора. Они чередуются. Две очень близких молекулы. Диаметр — примерно около 18 Å, расстояние хода винта — 34 Å. Здесь расположены молекулы фосфора и сахара, причем у них расстояние из 7—4 только между ними, так что полная повторяемость через 10 периодов, через 10 оборотов. 34 — несоизмеримо. Если 10 оборотов, то полная повторяемость. Это очень ясно непосредственно видно из рентгенограмм, которые я могу показать, но, по-моему, их не стоит сейчас рассматривать.

Самое существенное заключается в следующем. Вот эти придатки, которые нарисованы сверху (они имеются у каждой молекулы), они помимо того, что придатки, пиридины и пурины, они, кроме того, и перемычки, т. е. четвертый смысл буквы «п». (Смех.) Т. е. образуют горизонтальную систему перемычек или ступенек винтовой лестницы. Эти два винта держатся вместе связями, которые существуют между этими двумя перемычками. Эти связи сравнительно очень слабые, порядка приблизительно kT , немного больше; это существенно для дальнейшего.

Получилась чрезвычайно интересная вещь. Рентгенограммы были сделаны главным образом в Лондоне, целым рядом рентгенологов, а толкование модели было дано Криком и Уотсоном, которые работали в Кембридже. Крик — это физик, который во время войны был специалистом по магнитным минам в английском адмиралтействе, а потом перешел на плесень. (Смех.) Крик и Уотсон пытались истолковать полученные рентгенограммы, построив ... модели для этих пири-динов и пуринов (известные расстояния между атомами, известные уровни). Они пытались сначала

построить модели, укладывая их друг в друга, чтобы получить систему, которая, будучи рассчитана, дала бы потом эту рентгенограмму. Оказалось совершенно замечательная вещь, что вот здесь перемычки можно уложить, либо одно большое звено — одно большое с одним маленьким обязательно — один пурин с одним пиридином, иначе не хватает места. Причем не какой-то пурин с каким-то произвольным пиридином, а определенный пурин с определенным пиридином — только «А» с «а» и «В» с «в». Я не буду говорить названия, только «А» и «а», «В» и «в». Если вы возьмете, скажем, правую ступень, то их последовательность может быть любой: «А», «а», «В», «В», «В», «в» и т. д. Но если дана правая ступень, то левая однозначно определена... Вот это чрезвычайно существенно. Надо сказать, между прочим, что это явление было найдено на моделях совершенно независимо Печенком и Чадуком. Раньше была теория, что все эти четыре вещества встречаются в статистически равных величинах. Работы Чадука в Англии и других авторов установили, что фактически отношение в большинстве структур «А» к «а» и «В» к «в» (берется дезоксирибонуклеиновая кислота из самых разнообразных организмов: мышь, теленок, человек и т. д.) всегда равно единице, т. е. это как раз соответствует тому, что в модели только они друг другу подходят. По поводу этих опытов Брейк очень хорошо сказал, что это похоже на работу конструктора, который имеет заранее сделанные стандартные части. У вас есть четыре части, и если они подошли, так только одна к другой. Природа очень экономно строит свою картину. Надо сказать, однако, ... что отношение «А» к «В» не равно единице и, как выяснил Р $\leq \dots$, резко отличается в разных видах, но особенно резко они варьируют среди микробов. Значит, в этом отношении заключается видовая специфичность, а раньше оно нам казалось одинаковым для всех. Надо сказать, что значит единица с точки зрения биохимии, по крайней мере биохимии, относящейся к определению этих оснований. Единица в этих конкретных работах — от 0,85 до 1,009. Считается, что во многих распределениях это единица, а вот последние отношения достигают 1,8; 0,5, т. е. резко отличаются. Здесь это не структурное толкование.

При современном способе обработки вы не можете узнать по рентгенограмме, какие именно перемычки здесь стоят. Этого рентгенограмма не дает. Она указывает только, что есть перемычки, но отличить «А» от «а» и «В» от «в» она не может. Поэтому, если вы возьмете бактерию колли или возьмете растительное или животное существо и сделаете рентгенограмму, у вас получаются тождественные снимки. В разных условиях влажности, так как от влажности зависит степень трехмерной кристаллизации или перекристаллизации, у вас получаются тождественные снимки. Вот эта последовательность чередования не улавливается.

Гипотеза заключается в том, что различие в дезоксирибонуклеиновой кислоте у одного вида и у другого, которые тождественны по своим рентгенограммам, заключается в последовательности этих букв, которые рентгенограммой пока взять нельзя. Это, конечно, гипотеза, в ее пользу можно указать факты, непосредственно не связанные с дезоксирибонуклеиновой кислотой. Дело в том, что в организме большую роль играет другая кислота — рибонуклеиновая, не связанная, по-видимому, с наследственностью. По своему строению она очень близка к дезоксирибонуклеиновой. Тоже такой основной стержень, там только сахар немножко другой, другая степень окисления. Разница та, что перемычки там не эти четыре, а три те же самые, что в дезокси, а одна другая. Эта рибонуклеиновая кислота хуже изучена. Известно, является ли она двумерной или разветвленной.

Было проделано следующее. При помощи мощного фермента — нуклеаза — можно в общем установить, есть ли связь, какая последовательность пурин—пиридин—пурин. Он расщепляет там, где рядом следует пурин за пиридином или разветвляются два пурина друг за другом. Если взять рибонуклеиновую кислоту разных видов, то оказывается, что там чередование пурина и пиридина различное в разных видах. Нельзя, правда, сказать, какой именно пурин, какой именно пиридин, но их чередование различно. С дезокси такого рода опыты не сделаны, но можно по аналогии думать, что здесь тоже различные виды ... Повторяю, гипотеза заключается в том, что вся генетическая информация заключена в определенном чередовании этих букв, которые дают такое колоссальное число сведений. Теперь тут же, сразу, одним ударом, становится ясным и подтверждается, мне кажется, убедительно гипотеза, объясняющая потрясающую устойчивость при делении. Миллион раз происходит деление клетки, и она эту тонкую информацию не портит.

Представьте себе, что эти две молекулы, которые как бы винтом навиты друг на друга и связаны между собой перемычками, почему-то расцепились, разошлись в стороны. В цитоплазме есть, по-видимому, такие материалы, из которых можно строить нуклеины (сахар, фосфор), которые потом будут садиться на имеющийся у вас уже один винт. Один из винтов отошел от другого. Здесь торчат эти перемычки (показывает) ..., и на них из цитоплазмы могут осаждаться соответ-

венные и только соответственные нуклеотиды, потому что если у вас получится несоответствие, то у вас вторая цепочка не образуется. Нужно, чтобы у них были атомы (фосфор, сахар) на одной высоте. Если вы поставите несоответственно, если вы на «А» здесь не поставите «а», а на «В» — «в», то у вас и соответственные атомы окажутся на разной высоте, не сойдутся. У вас получится совершенно точная реплика — на «А» всегда сядет «а», на «В» — «в» и наоборот. У вас абсолютно точная реплика.

Тут возникает, конечно, вопрос: как они могут расцепиться? Ведь в худшем случае в такой молекуле несколько тысяч звеньев, сотни и тысячи оборотов. Чтобы их разорвать, потребуется все-таки громадная энергия. А потом как их распутать? Недавно в Доме ученых я видел книгу — американскую монографию о белках. В книге излагается гипотеза Крика и Уотсона. Автор читал работу Крика и Уотсона в 1954 г. в «Nature», но не читал последующих работ, потому что мне кажется, что Крик и Уотсон дали очень простое этому объяснение, во всяком случае очень убедительную, как мне кажется, гипотезу, которая заключается вот в чем. Представьте себе, что у вас вот здесь — вот в этом двойном винте — разорвались (возьмем для простоты на конце) две связи. Вот они разошлись как бы. Теоретически это возможно. Каждая связь — это порядка kT . Предполагается (это не доказано), что в цитоплазме есть такие заготовки — нуклеотиды. Если эти нуклеотиды есть (иначе как же построена эта кислота?), то у вас может получиться следующее. Здесь связаны перемычки (показывает), а здесь извне насядут два соответственных нуклеотида и здесь два. Что же получилось? Вы порвали две связи, а создали четыре. Выигрыш энергии. А потом постепенно, как застежка «молния», постепенно они будут расходиться. Вопрос заключается в том, что здесь будет возникать напряжение, здесь может все это рваться. Во всяком случае это гипотеза, которая, по-видимому, может считаться рабочей гипотезой и которая странным образом вот в этой новой монографии американской, только что полученной, просто не упоминается.

П. Л. Капица: Нужно, чтобы эти связи были kT , чтобы их возможно было разорвать.

И. В. Тамм: Они оказались kT .

П. Л. Капица: Поэтому это оказывается возможным при комнатных температурах.

И. Е. Тамм: Только поэтому и таким образом можно понять, как это разворачивается постепенно, шаг за шагом.

П. Л. Капица: Это есть механизм размножения?

И. Е. Тамм: Это есть механизм редупликации. Ведь при митозе, как известно, всякая хромосома дает две новых, причем они тождественны первой, исходной. Конечно, здесь уже вопросы деталей биохимии, но во всяком случае картина мне кажется очень убедительной, красивой.

Здесь очень существенный вопрос о специфичности дезоксирибонуклеиновой кислоты, потому что в разных видах она все-таки разная. Крик получил, по-моему, чрезвычайно интересные доказательства того, что ... до него получил ... г. Мак Лод (у нас говорят Мак Леод; по-английски это произносится Мак Лод). Так, возьмем работы по трансформирующему агенту. Вот, скажем, вы берете пневмококк. Есть пневмококк вирулентный, создающий заболевание. У него большая оболочка полисахарида (капсула), и он вирулентен. А бывает такой вид пневмококка, у которого нет этой оболочки и который неvirulentен. Оказывается, если вы возьмете нуклеиновую кислоту из дезокси- (не рибо-) из этого вирулентного типа, причем очистите ее от всех протеннов² (биохимическая очистка здесь такая, что только десятые доли процента белка сохраняются) и дадите эту кислоту организму, то он приобретает оболочку и сахар и становится вирулентным наследственно. Если вы возьмете из совсем постороннего вида, то ничего не произойдет; но если из близкого, то они отличаются наследственными изменениями, причем, конечно, весь обмен веществ меняется, потому что получаются ферменты, которые создают эти моносахариды, которые полимеризуются в оболочку, т. е. это целая новая ферментативная система.

Вот эти вещи, которые я сейчас рассказал (я, может быть, ошибаюсь, потому что совершенный дилетант), все-таки дают основания думать, что сейчас можно искать уже настоящие биохимические основы генетики.

Другой вопрос — это вопрос, недавно поставленный Гамовым. Представьте себе, что здесь информация запасена. Собственно говоря, все, что должно быть в организме, чем обусловлен весь обмен веществ, все ферменты и все прочее, записано такой четырехзначной системой. Но

² Долгое время считалось, что наследственность связана с белками.

должен же какой-то механизм передать информацию в клетку, цитоплазму, в гранулы, где происходит самый синтез белков и т. д., аналогично тому, как техническая документация от главного инженера должна передаваться в цеха. Как это делается? Гамов высказал сначала очень интересную гипотезу, хотя она несостоятельна по ряду пунктов. Что такое в основном синтез белков, ферментов и т. д.? Все они построены из цепочек аминокислот. Так как здесь четырехзначная система (из четырех возможных нуклеотидов построены все кислоты), то белки построены из различных типов аминокислот. Их довольно много, но в организме главным образом встречаются примерно 20—25 аминокислот. Совершенно схематически представьте себе, что у вас есть такая аминокислота, здесь гидроксил, здесь аминогруппа (рисует) и у нее здесь свободное место для какой-то группы, которая определяет отличие одной кислоты от другой.

Белок — это последовательность таких аминокислот. Расстояние здесь 3—6 ангстрем. Будем считать, грубо говоря, что существенную роль в организме играют 20 аминокислот, на самом деле их больше. Значит, разные ферменты, разные белки характеризуются разной последовательностью этих 20 элементов. Вам уже нужно 20 букв алфавита, чтобы представить такую историю в виде слова. Значит, надо как-то информацию, записанную четырехбуквенной записью, перевести на информацию, записанную 20 буквами.

Я не знаю, стоит ли сейчас говорить об этом? Времени мало. Мне очень бы хотелось послушать то, что Николай Владимирович обещал рассказать про вирус табачной мозаики. Или еще говорить минут 10?

Реплики из зала: Говорить. Конечно, говорить.

И. Е. Тамм: Как эта информация может передаваться? Сначала — первые, чисто формальные соображения, чисто арифметические. У вас есть цепочка, в которой имеются различные возможности на различных местах ставить различные буквы. Если у вас одной буквой здесь определялась бы аминокислота, которая стоит в цепочке белка, то у вас было бы только четыре возможности. Очевидно, нужно, чтобы номер в цепочке белка аминокислоты определялся, скажем, хотя бы двумя буквами. Но этого мало, теперь их станет только 16. Там еще симметрии всякие, — получается около 8. Мало. Значит, нужно, чтобы по крайней мере совокупность трех последовательных сегментов дезоксирибонуклеиновой кислоты определяла бы собой тот или иной номер в этой цепочке белка и таким образом определяла бы, какая кислота в белке будет стоять на данном месте. Если посчитать и сделать некоторые упрощающие предположения (учитывая всякие симметрии и предполагая, что у вас три последовательных звена в нуклеиновой кислоте определяют собой, какой именно белок стоит на этом месте), то как раз получится 20 возможностей.

Но дальше Гамов выдвигает следующую, мне кажется, слишком упрощенную гипотезу, от которой ему потом приходится отказаться. Он хочет толковать все это дело в высшей степени наглядно и просто: синтез белка получается так, что просто вот эти аминокислоты адсорбируются на соответственных местах винтовой молекулы и там садятся.

Может быть, одну картинку все-таки показать?

П. Л. Капица: Покажите, покажите.

И. Е. Тамм: Вот, собственно говоря, строение винтовой молекулы (демонстрирует рисунок). Это уже, конечно, не исходная модель Крика и Уотсона 1953 г. Она количественно несколько изменена. Это совместная работа 1955 г. английских и американских биохимиков, которые пришли к окончательным количественным данным. Вот это — изображение двухвинтовой молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты. Здесь вот (показывает) серенькие — это перемычки. Здесь — атомы перемычек. А вот это — бело-черная цепь — это есть основной жгут. Черное — это фосфор.

Это (демонстрирует следующий рисунок) непосредственно уже количественная модель — большое количество атомов. Вот как Гамов представляет себе эту модель ... Здесь нарисована не вся цепь. Вот эти белые шары — это только перемычки. Все остальное — фосфор и сахар — не нарисовано. Белые шары винтом навинчены. Это представляет собой внутреннюю часть вот этой дезоксирибонуклеиновой молекулы. А внутри — черные шары — это аминокислоты. Каждая аминокислота лежит в ямке между этими перемычками, перемычками. И предполагается, что как раз характер ромбиков, которые здесь есть, и определяет, какая именно аминокислота будет здесь лежать. Ну а следующая аминокислота будет ответвляться следующим ромбиком.

Если я раскрою этот винт, разверну в плоскости, то эти ступеньки, эти перемычки примут такую последовательность, такой характер. Здесь вы можете провести такой вот ромбик. Вот здесь

(показывает) лежит одна аминокислота. Потом есть следующий ромбик. Здесь лежит другая аминокислота и т. д.

Допустим, что так все это организуется ... Тогда давайте постараемся установить код между двичной, четверичной системой, здесь имеющейся, и аминокислотой. Вы проверяете на имеющемся материале и получаете противоречие. Нельзя подобрать кода, переводящего четверичную систему таких ромбиков в двадцатичную систему. Такой системы нет. Должен сказать, что я согрешил — придумал другой перевод кода. Попробовал — тоже не удовлетворяет. Но мне кажется, что это и по существу вряд ли разумно. Дело в том, что вряд ли разумно представлять себе, что синтез белков происходит непосредственно в хромосоме на дезоксикикислоте. Фактически основная часть синтеза идет, по-видимому, в цитоплазме на рибонуклеиновой кислоте. И поэтому это слишком механически представления. Гамов от них потом сам отказался. И отказался в пользу того, что синтез у вас идет в цитоплазме, хромосома дает задание дезоксикикислоте, а масса, передающая задание, — это рибонуклеиновая кислота.

Я не хочу, я не могу больше входить в детали этого дела. Таковы конкретные предположения, которые сделал Гамов. По этому поводу напечатана статья в сообщениях Датской Академии наук и, кроме того, кажется, в сборнике Бора. Есть статья Гамова в «Scientific American», где он делает некоторые другие предложения относительно рибонуклеиновой кислоты, но они, по-моему, неубедительны. Но вопрос, мне кажется, поставлен в высшей степени интересно. Позвольте мне на этом закончить.

П. Л. Капица: Вот видите, вы выслушали и доклад дилетанта в этой области.

Передо мной как председателем стоит очень трудная задача. Мы прослушали колоссальный материал, а на дискуссию у нас осталось 14 мин.

Реплики из зала: Продлить семинар.

П. Л. Капица: Продлить семинар не позволяет, это закон.

Самое интересное для нас, физиков, было то, что первый доклад показал, что физика может прийти на помощь биологии. Первый доклад охарактеризовал связь между элементарным физиологическим процессом и элементарным атомным процессом. Процесс мутации есть не что иное, как выражение квантового процесса. Ответ в проведенных исследованиях процесса мутации получен не в общих чертах, результаты численно проверяются, устанавливаются точно размеры из чисто физических соображений. Я думаю, присутствующие физики подтвердят, что, в основу доклада положены совершенно правильные и грамотные физические рассуждения. Таким образом, вы приходите, с точки зрения физики, к представлению, что процесс мутации является элементарным процессом.

С другой стороны, известно, что рентгеноструктурный анализ расшифровал большинство органических соединений и кристаллов. Теперь можно с помощью этого метода подойти уже к расшифрованию общей структуры молекул. Совершенно первоклассные структурщики показали, что при известной системе изображения на такой ленте можно записать исключительно сложную запись. Во всяком случае «память» такой ленты — такой маленькой молекулы — значительно больше, чем у любой из электронных машин, которые сейчас строятся.

Нельзя утверждать, что полученные результаты являются окончательными, но они показывают, какие большие возможности таятся во внедрении физических методов исследования в современную биологию.

Мне вспоминается одна из бесед с И. П. Павловым, происходившая 22 года назад. Мы с ним много беседовали на разные темы, и говорить с ним можно было совершенно откровенно. Я ему сказал как-то: «Вот Вы, Иван Петрович, занимались изучением условных рефлексов. Это очень интересная область, и Вы многое сделали. Но мне по натуре моей, как физику, гораздо симпатичнее направления, в которых ведут свои исследования Эдриан, Хилл и другие, подходя к биологическим процессам с точки зрения физики. И мне кажется, что в этой области гораздо интереснее работать». Вспоминаю буквально ответ Ивана Петровича. «Я с Вами согласен, — сказал он. — Но мне уже за восемьдесят, и мне поздно переучиваться. Я больше сделаю в области, в которой я сейчас работаю, продолжая свои исследования по условным рефлексам. Но, несомненно, будущее биологии принадлежит вам — физикам».

Я думаю, это большое прозрение человека великой мудрости. Я лично полагаю, что если И. П. Павлов считал, что господь бог первым долгом был физиком и химиком, а не кем-либо иным, то не нам — физикам и химикам — его опровергать.

Сегодня мы присутствовали на докладах, которые надо рассматривать как доказательство этого нового направления. Мне кажется, что следует обратить внимание физиков на то, что нам надо немного заняться биологией. Мы можем значительно ускорить развитие биологии, если будем ей помогать...

Голос из зала: А Вы можете им помочь?

П. Л. Капица: Начинать надо с немногого. Мы слышали, например, выступление акад. И. Е. Тамма, который немножко ознакомился с вопросами биохимии. Вот что значит немножко заняться. Вот в этом, на мой взгляд, заключается смысл сегодняшнего заседания.

Это не значит, что биологам, по нашему мнению, надо бросать все другие направления — павловские направления, но я считаю, что нельзя пренебрегать физическими методами исследования биологических процессов. Уже сейчас эти методы приводят к большим практическим результатам. Например, известно, что радиоактивность воздуха благодаря ряду опытных взрывов увеличивается. Мы можем понять из ваших выступлений (адресуется к Н. В. Тимофееву-Ресовскому), что можно в 200 раз увеличить радиоактивность нашего воздуха без особого влияния на организм человека. Это очень интересный практический результат, вытекающий из ваших опытов. Он имеет большое политическое и международное значение. Результат основан на твердых экспериментальных фактах, и мы не можем пренебрегать изучением этих фактов. Мы должны их знать и владеть ими так, как ими владеет Н. В. Тимофеев-Ресовский. Вот почему, как мне кажется, сегодняшний доклад представляет большой интерес для нас, физиков.

Я приветствовал бы повторение такого рода заседаний и в дальнейшем, но с тем, чтобы брать не такое широкое полотно, как сегодня, когда совершенно невозможно обсудить все поднятые вопросы, а выбирать более узкие, конкретные вопросы и разбирать их на семинаре.

А. Н. Фрумкин: Я считаю, что сегодня обсуждать все вопросы будет нелепо. Но всем нам очень хотелось бы высказать мнение присутствующих здесь академика В. А. Энгельгардта и члена-корреспондента Н. П. Дубинина. Для химиков то, что мы здесь слышали, может оказаться и не столь убедительным, как для физиков. Хотелось бы послушать по этому поводу мнение химиков, потому что то, что в физической части очень ясно и элементарно, то в химической части все-таки менее убедительно. Поэтому я вношу предложение устроить еще одно заседание. Если это нельзя сделать на следующем семинаре, можно через семинар.

П. Л. Капица: Все это, бесспорно, интересно, но нужно конкретизировать вопрос. Химические проблемы нам на нашем семинаре разбирать труднее. Александр Наумович (адресуется к А. Н. Фрумкину)! Вот Вам бы устроить такое собрание, потому что химические проблемы нам трудно обсуждать. Я, например, не берусь руководить дискуссией по химической части. Я думаю, что это надо передать химикам.

(Адресуется к В. А. Энгельгардту). Может быть, Вы хотите что-нибудь высказать по поводу доклада, какие-либо общие соображения? Всем биологам нельзя дать высказаться, но, так как Вы являетесь также биологом, может быть, Вы скажете несколько слов.

В. А. Энгельгардт: Я поставлен в очень затруднительное положение — высказать в течение 5 минут что-либо связанное по таким сложным проблемам. У меня возник ряд вопросов, на которые мы теперь не успеем получить ответа. Но все же я о них упомяну.

Как правильно сказал акад. А. Н. Фрумкин, если с физической стороны все обстоит гладко, то с химической стороны дело представляется более сложным. Как химикам интерпретировать те изменения, следствием которых являются мутации? Должны произойти какие-то определенные, притом специально узко ограниченные изменения молекулярной структуры на каком-то участке цепи нуклеиновой кислоты. Причем это не просто полная деструкция соответствующей молекулы; мы должны допустить возможность строго ограниченного перехода, скажем, разновидности «А» в «а», или «А» в «в», или «В» в «А». Число возможных изменений очень небольшое. Как же можно себе представить такие изменения, скажем переход пурина в пиридин и поглощение ионизаций?

И. Е. Тамм: Они местами меняются.

В. А. Энгельгардт: Значит, они должны оторваться от цепи и вновь стать в соседнее место в другом порядке. Не очень ясно, имеются ли этому хотя бы какие-то аналогии в простых системах, в простых условиях ...

И. Е. Тамм: Нужно вышибить пару ступенек, и новая ступень станет на место, независимо от того, что было раньше. Если вышибить одну ступень, то восстановится то же, что было и ранее.

В. А. Энгельгардт: Выбить один остаток и поставить из окружающих заготовок другой. Но это замена, а не деструкция, о которой шла речь. Тогда становится несколько яснее такая возможность с химической стороны.

Другое положение, которое я хотел бы подчеркнуть, уже не в виде вопроса. Очень любопытно, что до недавнего времени считалось, что специфичность заложена в строении белков с их 23 или 25 аминокислотами, которые дают огромное количество вариаций. Теперь положение коренным образом изменилось. Вся проблема специфичности перенесена в область нуклеиновых кислот с их необычайно простым, с точки зрения состава, строением, с четырьмя структурными единицами — с четырьмя знаками, из которых построены эти цифры. И. Е. Тамм показал, что при этой четверичной системе, при том числе общих знаков, которые в такой нити имеются, может возникнуть потрясающее количество изменений. Это в принципе в полной мере объясняет все бесконечное множество молекул.

Еще мне хотелось бы подчеркнуть, что в основе воззрений о роли, которую могут играть нуклеиновые кислоты, в частности о процессе редупликации, лежит представление о спиральной структуре молекулы. До недавнего времени было представление о преимущественно линейном строении или слегка изогнутом — зигзагообразном строении белков. В отношении нуклеиновых кислот еще в большей мере господствовали представления о линейной структуре. Теперь и для белков, и для нуклеиновых кислот выступает на сцену спиральная структура. Для белков эти работы осуществлены Полладом, Кори, Нобелем. На сцену выступила новая схема структуры белковой молекулы, построенной по тому же типу, о котором говорил И. Е. Тамм: спираль с определенным ходом витка, с определенным числом остатков на каждом витке — 3,7 остатка на виток, с определенным расстоянием между витками — 5,1 ангстрема. Теперь мы имеем такую же спиральную структуру, лежащую в основе нуклеиновой кислоты. Спиральная структура впервые объясняет в известной мере редупликацию и значительно увеличивает число возможных вариаций специфичной структуры, которые даются одной только четверичной системой. В этой схеме две цепи определенным образом лежат друг возле друга и этим создается значительно большее число возможных специфических структур.

До недавнего времени, в работах Эшбери, когда господствовало линейное представление о структуре молекулы, получалось очень хорошее совпадение, конечно чисто формальное, расстояний между длинами аминокислотных остатков полипептидной цепи и расстояний между отдельными звеньями нуклеиновой кислоты. Казалось, что они могут хорошо ложиться одна рядом с другой. Сейчас цифры для спирали нуклеиновой кислоты, я этого даже не знал, совершенно иного порядка, чем для белков. Думали, что и в этих двух спиральях может быть возможность совмещения близкого расположения...

Но здесь получается: 34 ангстрема — высота хода витка, 18 ангстрем — ширина между цепочками. Величины — совершенно иного порядка. Для белка, если я не ошибаюсь, диаметр — около 7 ангстрем, расстояние между параллельными цепочками — всего 5 ангстрем.

Мне кажется, что исследование роли нуклеиновых кислот и белков как носителей специфичности структуры в биологии являются очень важными и открывают новую область, где сходятся не две смежные дисциплины, как говорил вначале П. Л. Капица. Он указал, что особенно важны те участки, где соприкасаются две смежные дисциплины. Здесь сходится гораздо больше дисциплин. Для того чтобы действительно разобраться во всей сложности возникающих вопросов, недостаточно ни химии, ни биологии. Здесь нужно привлечь и физиков, и биологов с биологическим анализом, о котором мы слышали, химиков для расшифровки последовательного расположения звеньев в нуклеиновой кислоте, как это сделано в отношении белковой цепи. Здесь можно ожидать очень важных результатов. Мне кажется, одной из первых задач является расшифрование последовательности строения полимеров нуклеиновой кислоты, как это было сделано с белками. К участию в исследованиях нужно привлечь кристаллографов — фактически нужен кристаллографический структурный анализ. Необходимо участие физика с объемным мышлением, который может ясно представить себе расположение в пространстве. Важно представить себе все выгоды, которые вытекают из подобной структуры, — это является делом первоочередной важности.

Если точками роста, как говорил А. Н. Несмеянов, являются пункты соприкосновения смежных дисциплин, то здесь мы имеем точку особенно бурного роста, потому что здесь соприкасаются уже не две дисциплины, а перекрещиваются интересы, методические подходы и способы анализа по крайней мере четырех или пяти дисциплин. Если из четырех таких перекрещивающихся букв, как рассказал И. Е. Тамм, может возникнуть все разнообразие записи кода в биологии, то чего же можно ожидать, каких огромных результатов и выводов, когда соединятся четыре дисциплины и начнут анализировать все эти вопросы!