

От редакции. Ювал Неeman Ср. 1925, Тель-Авив), израильский физик и политический деятель, полковник запаса, выходец из семьи старожилов Тель-Авива (дед Неемана — один из шестидесяти основателей города). Окончил гимназию «Терция» и хайфский Технион (в 1946 г., по специальности механика и электричество). В войну за Независимость служил в отборной части Гив'ати Армии Оборона Израиля; во время Синайской кампании был заместителем начальника военной разведки. В 1958-60 гг. Неeman — военный атташе в Лондоне, где одновременно вел интенсивные научные исследования в области атомной физики в Королевском колледже естественных наук и техники при Лондонском университете. В 1961-63 гг. — научный руководитель лаборатории Израильской комиссии по атомной энергии в Нахал-Сорек, с 1965 г. — профессор и глава отделения физики Тель-Авивского университета, в 1971-75 гг. — его президент; в 1975-79 гг. — советник министерства обороны по вопросам науки.

Активную политическую деятельность Неeman начал после Шестидневной войны, основав движение «За неделимый Израиль». В 1979 г., после подписания мирного договора с Египтом, создал и возглавил движение Тхия, которое выступает против каких-либо территориальных уступок арабам. Неeman — член Кнессета 10-го, 11-го и 12-го созывов, в 1981-84 гг. — министр науки и развития. Многие годы участвовал в борьбе за право советских евреев на возвращение в Израиль и улучшение условий их (особенно ученых) абсорбции в стране.

Неeman достиг выдающихся результатов в научных исследованиях. Он — один из создателей теории унитарной симметрии, открывшей путь к решению фундаментальной и наиболее сложной проблемы атомной физики — классификации элементарных частиц. В 1961 г., независимо от М. Гелл-Манна, обосновал принцип разбиения адронов (элементарные частицы, участвующие в сильных взаимодействиях, - протон, нейтрон, гипероны, мезоны и все резонансные частицы) на супермультиплеты (семейства частиц, обладающие некоторыми выделенными общими свойствами), в результате чего стало возможным предсказание свойств еще не открытых частиц (сам Неeman предсказал, в частности, существование устойчивой частицы омега-минус, позднее обнаруженной экспериментально). Это открытие позволило также обосновать одну из интереснейших гипотез современной физики — гипотезу кварков, т.е. структурных частиц, из которых состоят все другие элементарные частицы. В последующие годы Неeman плодотворно работал в области квантовой теории поля, теории гравитации и в других областях современной физики. Научные заслуги Неемана отмечены рядом премий, в том числе Государственной премией Израиля (1969), медалью А.Эйнштейна (США, 1970), медалью Коллеж де Франс (Франция, 1972) и другими наградами, Неeman — член Национальной академии наук США и многих других иностранных научных обществ. (Подробнее см.; Краткая еврейская энциклопедия. Т.5. Иерусалим, 1990.)

Ювал Неeman

Счастливый случай, наука и общество.

Эволюционный подход¹

1. Случайность стала отличительной чертой нашей картины природы

В начале XIX в. детерминизм доминировал, выступая в роли центральной парадигмы. Лаплас полагал, что если бы в любой дан-

¹ Доклад, прочитанный 3 октября 1992 г. на Симпозиуме Эмиля Ширкенштейна «Решение проблем в медицинских исследованиях», состоявшемся на Медицинском факультете Университета Эразма в Роттердаме.

ный момент положения, массы и скорости всех частиц во Вселенной были известны и в нашем распоряжении были бы широчайшие вычислительные возможности (в наше время можно было бы сказать: «и мы имели бы суперкомпьютер»), то можно было бы восстанавливать прошлое и предсказывать будущее физического мира. Более того, в современных работах по общей теории относительности (классической, т.е. некантовой) авторы часто решают «задачу Коши», представляющую не что иное, как современный вариант лапласовской «затеи», а именно: для любой гипотетической четырехмерной космологической модели «эволюцию» в прошлом и в будущем требуется вычислить по данным, относящимся к «мировому листу», представляющему настоящее [1]. Еще одним современным аналогом лапласовской программы может служить проблема, над решением которой бьются метеорологи: пользуясь всеми известными данными, собранными со всего света, о температуре, давлении, скорости ветра, облачности (включая распределение параметров по высоте, отчего задача становится четырехмерной), топографию Земли и т.п., предсказать погоду на завтра (или на будущий месяц). Специалисты по физике атмосферы, занимающиеся этой проблемой в конце XX в., знают, что на некоторые вопросы невозможно ответить из-за так называемого «хаотического» поведения атмосферы. Этого аспекта мы еще коснемся.

Первое ослабление позиций детерминизма, по-видимому, произошло не из-за принципа, а просто из-за нехватки информации. Статистическая механика, созданная Людвигом Больцманом и Дж. Уиллардом Гиббсом, объясняла термодинамические переменные (давление, температуру, энтропию и т.д.) как коллективные свойства, отражающие поведение 10^{24} — 10^{30} частиц, ссылаясь на то, что рассматривать столь большое число частиц поштучно было бы практически невозможно. Считалось, что энтропия выражает меру нашего незнания. Ныне мы не столь уверены в правильности этой интерпретации. Предположим, что современные приборы позволят нам измерить значительную часть молекулярных данных. Уменьшится ли от этого энтропия системы? Поэтому были предложены новые определения энтропии [2].

Затем наступил черед квантовой механики и принципа неопределенности, гласящего, что по причинам принципиального свойства мы можем располагать только примерно половиной информации (либо о скоростях, либо о положениях частиц, но никогда о том и другом одновременно). Кроме того, как показано экспериментально на неравенствах Белла [3], речь идет не о прагматических затруднениях; информация недоступна просто потому, что ее не существует. Существует лишь квантовая «амплитуда», дающая вероятности нахождения частицы в различных точках пространства или того, что

она движется с той или иной скоростью. Как бы ни были разочарованы Эйнштейн, Подольский и Розен [4], не существует никакой «лежащей в основе всего реальности», не существует точки, в которой «на самом деле» находится частица, положение которой не может быть нами измерено по чисто прагматическим причинам. Лишь после операции «измерения» (например, координат частицы) частица действительно обретает «прочное» положение, а коль скоро положение частицы измерено, ее импульс (или скорость) оказывается теперь неопределенным «на самом деле».

Третий источник неопределенности возник в последние два десятилетия при исследовании «хаоса» [5]. Недетерминистическими могут быть даже классические физические ситуации. Речь идет о нестабильных динамических ситуациях (подобных тем, с которыми сталкиваются метеорологи в приведенном выше примере), когда очень малое изменение начальных условий полностью изменяет будущее частицы. Бильярдисты знают, что, когда один шар при столкновении с другим немного отклоняется в сторону, последствия такого отклонения будут весьма ощутимыми: несмотря на тщательно рассчитанный вами удар, второй шар пройдет мимо третьего и результаты игры окажутся совершенно иными, чем вы предполагали. Метеоролог Э.Н. Лоренц [5] был одним из первых ученых, зарегистрировавших этот феномен в динамических системах.

Дарвиновская теория эволюции в ее современной («неодарвинистской») конкретизации указала еще на одну, четвертую область, где господствует стохастичность, а именно на случайности в биологии. Мы знаем теперь, что эволюция действует в гораздо более широкой области и везде происходят рандомизированные мутации. В биологии такие мутации служат перводвигателем механизма, ответственного за генетическое «происхождение видов». Концепция «эволюции» в ее спенсеровском варианте, например [6], ничего не говорит о том, что заставляет виды мутировать. Сам Дарвин лишь постулировал процесс селекции, при котором те или иные мутации оказываются удачными и поэтому обеспечивают виду более высокие шансы на выживание. Вместе с Бернардом Шоу (в его пьесе «Назад к Мафусаилу») можно считать, что некая «духовная» неоламаркистская сила (быть может, бергсоновский «жизненный порыв» — «elan vital») вынуждает вид «решать», что он должен изменить какую-то характеристику, чтобы выжить [7]. Лысенко считал, что можно заставить организмы включить благоприобретенные черты в генетическую наследственность.

После открытия генетического кода стало ясно, что ДНК просто претерпевает при репродукции «ошибку копииста» (подобную ошибкам, которые совершались при переписывании древних библейских рукописей) и что это и является механизмом, производящим

мутацию организмов. Претерпевшие мутацию молекулы ДНК прежде всего проходят прямую проверку своей собственной физической стабильности. После такой проверки организм получает шанс на «пригодность». Новый вид должен выжить в среде, в которой он оказался по воле случая и приспособленности родительских видов.

Таким образом, мутационный механизм по природе своей случаен, хотя и подвержен действию ограничений, налагаемых физическими условиями: чем проще молекула ДНК, тем меньше возможностей для мутаций. Не следует ожидать «больших скачков» на каждом шагу. Старое возражение против эволюции заключалось в том, что у нее, проделавшей долгий путь от неорганического вещества до человека, просто не хватило бы на это времени. Это возражение исходило из допущения о том, что 10^{27} молекул внезапно должны бы-ли выстроиться в человеческое существо. Это впоследствии уподобляли вероятности того, что шесть обезьян способны отпечатать на пишущих машинках сочинения Шекспира. Действительно, изменение, подобно ошибкам в тексте, всегда исходит из некоторого данного состояния, и вероятность тех или иных исходов не так велика. Можно даже оценить время, за которое происходит дифференциация видов, подсчитывая число изменений в соответствующей молекуле ДНК. Что же касается шансов на превращение микроба в человека, то Доукинс уподоблял такой вопрос вопросу о том, как удает-ся Миссисипи, во всех своих излучинах, так точно проходить под всеми мостами.

В принципе именно господство случайности лежит у истоков второго начала термодинамики. В своей исключительно богатой идеями книге «Что такое жизнь?» Шредингер [8] обратил внимание на обратное направление эволюционной стрелы времени, которая направлена от простоты к структуре, порядку и сложности. Случайная мутация и упорядоченный отбор (см. книгу Моно «Случайность и необходимость» [9]) объясняет этот «негэнтропийный» парадокс, как и кажущуюся очевидной телеономию.

2. Эволюционная эпистемология (Поппер—Кемпбелл)

В своей эволюционной эпистемологии Карл Поппер и Дональд Кемпбелл сформулировали неodarвинистскую схему, описывающую, как эволюционирует наука [10]. Оригинальным вкладом самого Поппера в философию науки была его идея фальсификации: ни одна теория не может называться теорией, если она не может быть проверена экспериментально и не оказывается ложной в некоторых своих предсказаниях. Кроме того, согласно Попперу, прогресс в науке идет именно через этот процесс фальсификации: теория, не выдержавшая проверки, заменяется на более совершенную, с более

широкой областью истинности. Пример: замена ньютоновской теории гравитации эйнштейновской, которая, помимо прочего, также объясняет прецессию перигелия Меркурия, не находившую объяснения в ньютоновской механике.

Развитие системы науки является очевидно эволюционным процессом, и фальсификация уже дает нам необходимый механизм отбора. Остается еще найти механизм случайной мутации. Для этого Поппер и Кемпбелл ввели гипотезу слепой вариации, согласно которой новые идеи в науке рождаются независимо от той проблемы, для решения которой они на самом деле служат. Общеизвестно, что логически невозможно правильно вывести эмпирические обобщения или теории из данных наблюдения. Не существует также универсального метода, позволяющего прийти к «истинной» теории, не занимаясь ее проверкой. Поппер и Кемпбелл делают отсюда вывод, что ни для одной теории не существует априорного оправдания и поэтому построение теории есть не что иное, как угадывание, т.е. некая случайностная операция. Кемпбелл называет новые научные виды неоправданными вариациями, случайными мутациями проверенных теорий.

На первый взгляд, тезис Поппера — Кемпбелла напрашивается на самую суровую критику. Если наука обязана своим прогрессом слепому угадыванию, то зачем воспитывать ученых и для чего ученым следовать исследовательским программам? И существует ли тогда научная методология? Не последовать ли нам за Фейерабен-дом [11], считающим, что «все сгодится»? Не позволить ли каждому заниматься тем, чем ему хочется заниматься? Произвела бы серия подобных операций сколько-нибудь заслуживающие внимания научные результаты? В более точной формулировке критики Тагар [12], например, использует предложенное самим Кемпбеллом определение слепых вариаций: они должны быть независимы от условий окружающей среды, имеющих место в данный момент. Далее Тагар утверждает, что когда ученые приходят к новым идеям, то обычно они это делают, решая какие-то частные проблемы.

3. Эволюционная эпистемология на основе счастливого случая (везения)

В недавней работе [13] Канторович и я предложили более тонко структурированную теорию мутационного механизма. Тем самым мы также разрешаем вышеупомянутый парадокс и выявляем особую форму эволюционного механизма, которую он принял в процессе развития науки. Далее мы сформулируем выводы относительно эволюции общества. Наш тезис состоит в том, что ключевую роль в мутационном механизме играет везение. Мы показали, что именно

феномен стоит за главными достижениями в науке, будь то в теории или в открытии новых явлений или новых проблем, которыми впоследствии начинает заниматься наука.

Вторая важная модификация состоит в том, что наш тезис надлежит применять, если говорить в самых общих чертах, к революционной стадии, следуя Куновскому различению нормальной и революционной науки [14]. В нормальной науке ученый решает проблемы с помощью интенционального действия, почти как при решении инженерной проблемы. Иначе обстоит дело в революционной науке или даже в отчасти революционных ситуациях, поскольку никто каждодневно не совершает великих открытий, таких как теория относительности или квантовая механика. Мы утверждаем, что здесь главную роль играет везение, понимаемое в широком смысле, который мы попытаемся определить более точно.

Чем более революционный характер носит открытие, тем более неожиданными являются результаты. Исследователь никак не мог к ним стремиться. Пример: открытие деления атомного ядра. Бомбардируя нейтронами ядра урана, Ферми хотел получить элементы 93 и 94. Вместо этого, согласно Лизе Мейтнер и Отто Фришу, он расщепил ядро урана надвое и наблюдал известные элементы, расположенные в середине периодической таблицы, Мейтнер и Фриш обосновывали свой результат аналогией с повторным экспериментом, выполненным такими авторитетными химиками, как Отто Ган и Фриц Штрасман, которые считали, что наблюдали барий, лантан и под, а не гомологи этих трех элементов среди актинидов (см. [15], pp. 207-208).

В этих революционных случаях имеется ярко выраженная стохастическая компонента, очевидный эффект случайности. Однако иногда поразительные результаты, полученные «случайно», делают этой стохастической компонентой самого ученого. Например, так происходит, когда исследователь отказывается от какой-нибудь твердо установленной парадигмы и пускается «во все тяжкие», как в казино в Лас-Вегасе.

Третьим элементом нашей модифицированной версии эволюционной эпистемологии является тезис о том, что мутирует не статическая структура науки, а динамический исследовательский механизм. Существует постоянно действующая программа, поиск «А». Этот поиск должен постоянно вестись, чтобы иметь какие-то результаты. Суть его лучше всего выражает фраза: «Странная вещь случилась по пути на Форум». Если ученый не будет все время настороже, с ним никогда не приключится ничего странного, никакой мутации, никаких везений, никаких случайных открытий «В». Вспомним, генетические мутации не происходят в статической ДНК; для них необходим процесс репродукции, в который может вкрасться ошибка.

«Нормальная» наука или, точнее, нормальный преднамеренный и запрограммированный процесс исследования, обычно направленный на дальнейшую разработку уже полученных результатов, является в данном случае тем механизмом, в котором происходит мутационная «ошибка».

В примерах, которые мы приведем, имеется несколько различных «траекторий»: поисковое исследование, т.е. исследование, не являющееся поиском чего-то конкретного, но все же остающееся поиском и открытием «В»; поиск «А» и открытие «В» в качестве побочного продукта; поиск «А» и открытие вместо этого «В». «В» может и не искаться как ответ на поставленный вопрос, или оно может быть также новым явлением, или новой проблемой. В некоторых странных случаях «В» — это «А», но по неожиданным причинам.

4. Революции в физике XX века

Начнем с примеров наиболее известных случаев «революционной науки» — тех, что мы использовали для определения самого понятия.

Две великие научные революции начала XX в. были совершены в результате везения. В случае специальной теории относительности стимулом стал тот интерес, который на протяжении всей своей жизни Майкельсон питал к скорости света, — интерес, побудивший, его применить свои навыки для измерения скорости движения Земли в эфире [16]. Вместо этого он получил нулевой ответ, необъяснимый в рамках классической физики. Разгадка была найдена Эйнштейном. В своей работе 1905 г. о специальной теории относительности Эйнштейн совершил решающий концептуальный шаг: вместо того, чтобы следовать вере в парадигму эфира и рассматривать фитцджеральдовское сокращение длин и т.д. в качестве описания «как если бы...», он вообще отказался от эфира, убрал его из базовой парадигмы и постулировал вместо него физические сокращения самого пространства или, точнее, пространства-времени. Геометрическая интерпретация, однако, была предложена лишь в 1908 г. бывшим учителем Эйнштейна Германом Минковским (см. [15], pp. 80-85). Он объяснил, что открытие Эйнштейна по существу сводится к особой записи теоремы Пифагора: вместо $R^2 = x^2 + y^2 + z^2$, по словам Минковского, теперь следует писать $R^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2$, где «с», скорость света, — это универсальная постоянная. Член « $-c^2 t^2$ » означает, что время входит со знаком минус (т.е., с математической точки зрения, время — «мнимая» величина) и что скорость света «с» задает фиксированную «скорость обмена» (времени) на сантиметры (длину). Именно в этом нетривиальном смысле Мин-

ковский назвал время «четвертым измерением» в «пространстве-времени».

Теперь мы подходим к менее известной истории открытия общей теории относительности — так Эйнштейн назвал свою теорию гравитации. Этот пример не столь выразителен, хотя по сути своей ничем не отличается от первого.

Каким образом Эйнштейн перешел от специальной теории относительности к общей теории относительности, оставалось загадкой для многих до тех пор, пока это не прояснил Альфред Кастлер на конференции, посвященной столетию со дня рождения Эйнштейна (Иерусалим, 1979 г.) [17]. Промежуточная стадия, связанная со счастливым случаем, появляется в «Ежеквартальном журнале судебной медицины и здравоохранения» (на немецком языке). Статья от-ражает поисковую фазу исследования и посвящена юбилею друга Эйнштейна, медика. Неудивительно, что лишь очень немногие физики знали о существовании этой публикации.

В этой «медицинской» статье Эйнштейн анализирует поведение света в гравитационном поле, все еще используя ньютоновскую теорию гравитации. В специальной теории относительности он обнаружил, что масса представляет собой новую компоненту потенциальной энергии, а именно вывел ныне «священную» формулу $E = mc^2$. Теперь Эйнштейн осознал, что именно эта энергия связана с гравитацией, т.е. служит как бы «гравитационным зарядом» подобно тому, как электрический заряд порождает электростатические силы и связан с ними. Далее Эйнштейн приходит к выводу о том, что, хотя луч света, несущий только импульс и угловой момент, не имеет массы, он тем не менее несет энергию, а именно кинетическую энергию. Поэтому свет должен «падать» в гравитационном поле, т.е. притягиваться и отклоняться (это лишь половина того результата, который Эйнштейну удалось получить в новой общей теории относительности в 1916 г.). Но отклонение, рассуждал Эйнштейн, предполагает изменение скорости света, которая должна приобрести боковую компоненту, а также ускориться (т.е. увеличиться) в своем движении к источнику гравитации и замедлиться (т.е. уменьшиться) после того, как он пройдет мимо него. Здесь перед нами случай везения: как быть со священным постоянством скорости света, которое сам Эйнштейн провозгласил лишь четыремя годами раньше? Могло ли быть так, чтобы свет не отклонялся? Но тогда бы возник трудный парадокс, связанный с пониманием энергии и массы. Должен ли был тогда Эйнштейн отказаться от тезиса о постоянстве «с»? Каким же шоком это должно было стать!

Услышав о предложенной Минковским геометрической интерпретации его (Эйнштейна) специальной теории относительности (и вначале отвергнув геометрические представления как ничего не ме-

няющие в его собственных результатах), Эйнштейн внезапно понял, что геометрическая интерпретация могла бы стать единственным способом решения проблемы гравитации и при этом сохраняла бы предыдущую парадигму. Он обратился к своему другу и бывшему соученику Марселю Гроссману (отец которого помог Эйнштейну получить работу в Швейцарском федеральном патентном бюро), ставшему специалистом по дифференциальной геометрии, и спросил его, существуют ли геометрии (т.е. пространства-времени), в которых теорема Пифагора содержала бы непостоянные коэффициенты. Конечно, ответил Гроссман, такова геометрия Гаусса и Римана — геометрия искривленных пространств. Попробуем записать теорему Пифагора для прямоугольного треугольника, образованного дугой нулевого меридиана от северного полюса до экватора, дугой экватора в 90 градусов и дугой девяностого меридиана от экватора до северного полюса. Мы получим равносторонний треугольник с тремя прямыми углами. Теорема Пифагора в ее первоначальном («плоском») варианте здесь просто неверна. Вообразите теперь ту же теорему для треугольников, начерченных на конском седле.

С этого момента Эйнштейн сосредоточил усилия на создании новой (и геометрической) теории гравитации, т.е. совсем не на той цели, которую он поставил перед собой первоначально. «А» должно было стать другим исследованием в поиске лучшего понимания природы света, основной цели Эйнштейна в двух из трех опубликованных им в 1905 г. фундаментальных работ. «В» было общей теорией относительности, теорией гравитации.

Обратимся теперь к квантовой механике. Интерес Планка ко второму началу термодинамики побудил его к попыткам вывести формулу, которая бы правильно описывала спектр излучения черного тела. Единственная формула, которую он мог найти, получалась в предположении, что излучение испускается квантами действия (в данном случае энергией h период). Планк рассматривал свою формулу как временную меру, введенную *ad hoc* [18]. Она легла в основание новой физики.

Хочу воспользоваться представившимся случаем и исправить одну несправедливость. Уильям Томсон, лорд Кельвин, заслуживает глубочайшего уважения, а не насмешек, которыми обычно осыпают его за лекцию, прочитанную в Королевском институте Великобритании в 1900 г. В этой лекции под названием «Тучи XIX века над динамической теорией тепла и света» Кельвин правильно отмечал непримиримое противоречие двух феноменов со всем остальным синтезом, достигнутым физикой XIX в. Результат Планка еще не был известен, но Кельвин указал на загадку удельных теплоемкостей, не согласующихся с законом равнораспределения Максвелла — Больц-мана, еще одной «верхушкой» того же квантового айсберга. Другой

тучей, о которой упомянул в своей лекции Кельвин, был эксперимент Майкельсона — Морли, приведший к созданию теории относительности. Ни одна из революций еще не произошла, но Кельвин прозрел всю глубину образовавшегося несоответствия [19]: «Трудности на пути создания последовательной теории столь велики, что мы не можем даже вообразить дорожный указатель, который направил бы нас в ту сторону, где можно было бы найти объяснение... На этот раз понадобится, возможно, лет сто, прежде чем суть дела станет нам столь же ясной, как этот стакан воды... Мы научимся по-другому смотреть на вещи...»

5. Сверхпроводимость и «методические» поиски

Проанализируем теперь не столь известные примеры, начиная с недавнего (1986 г.) открытия высокотемпературной сверхпроводимости, ВТСП [20].

Один из способов поиска «А» (который сам по себе является одной из разновидностей нормальной науки) — это методические поиски. Рассмотрим два таких случая, которые связаны со сверхпроводимостью, но начнем с последнего по времени открытия Георгия Беднорца и Алекса Мюллера из лаборатории корпорации ИБМ в Цюрихе, сделанного ими при испытании керамики из оксидов металлов. Перед нами в высшей степени интенциональный поиск (поиск «А») на основе заранее избранного ключа. Поиск новых типов сверхпроводящих материалов шел во многих лабораториях мира с целью получения материалов с высокой критической температурой (температурой, при которой охлажденный материал становится сверхпроводником) и дешевых, что соответствовало бы запросам промышленности (созданию мощных магнитов и т.п.). Мюллер и Беднорц почерпнули руководящую идею своих поисков, изучая существующие и весьма необычные материалы — оксиды $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ и LiTi_2O_4 . Основы понимания сверхпроводников были заложены в 1957 г. прочной парадигмой, известной под названием теории БКШ (в честь ее создателей Дж. Бардина, Л. Купера и Дж. Шриффера [21]). С середины 70-х гг. оба оксида были известны как вещества с относительно высокой критической температурой 13 К. Беднорц и Мюллер сочли такие «перовскитные» керамические оксиды многообещающими, поскольку можно сравнительно легко менять их состав, заменять один металл другим с той же валентностью, но с иными свойствами. Используя общепризнанную теорию БКШ, можно было предвидеть изменения, которые бы повышали критическую температуру за счет увеличения плотности состояний электронов на уровнях Ферми, например — изменяя пропорцию Pb:Bi в первом материале. Эта схема не дала желаемых результа-

тов. Другая попытка была направлена на увеличение «электрон-фо-нонной» связи. Фононом в физике называют фундаментальное (хотя и коллективное) квантовое акустическое колебательное возбуждение в твердом теле. Теория допускала, что усиление электрон-фо-нонной связи может случиться через эффект Яна —Теллера, с помощью метода спонтанного возмущения на молекулярном уровне, и Беднорц и Мюллер попытались применить этот подход к системе LaNiO , но без особого успеха. И тут после трех лет (1983-1986 гг.) непрерывных поисков исследователям повезло.

Группа химиков из Кана (К.Мишель, Л.Эль-Рахо и Б.Раво) работала над созданием керамики Ba—La—Cu—O и опубликовала результаты своих исследований. Беднорц и Мюллер обнаружили их публикацию, методически просматривая всю доступную литературу. Теория БКШ не возлагала особых надежд на этот материал, но химики показали, что он весьма чувствительно «реагирует» на модификации того типа, которые производили Беднорц и Мюллер. Исследователи переключились на эти материалы и действительно открыли первую высокотемпературную керамику $\text{La}_{5-x}\text{Ba}_x\text{Cu}_5\text{O}_{5(3-y)}$ при $x = 1$ и $x = 0,75$, $y > 0$ с критической температурой выше 30 К. Таким образом, здесь случайное свойство оказывается «ослаблением» теоретической парадигмы. Что же касается общепризнанного теоретического объяснения новых сверхпроводников, то его не существует и поныне (по октябрь 1992 г.)

Интересно теперь обратиться к первому открытию низкотемпературной сверхпроводимости Х.Каммерлинг-Оннесом в Лейдене в 1911 г. [22]. Здесь также в качестве «А» выступал широкий методический поиск: Каммерлинг-Оннес был великим первооткрывателем в области получения низких температур, и теперь он исследовал свойства материалов в этих условиях, измеряя и составляя таблицы механических и электрических свойств. Ничто в известной ему физике не могло подготовить Каммерлинг-Оннеса к внезапному полному исчезновению электрического сопротивления, которое ему довелось наблюдать. В известном смысле такого рода исследования (не поиск чего-либо конкретного, а готовность к любым сюрпризам, откуда бы они ни приходили) в какой-то мере можно считать институционализованным везением.

Следующие замечания выдержаны в духе комментария к методическим поискам. Если вы не хотите делать слишком большую ставку на удачу, исследования следует проводить тщательно и методически. Здесь мне на ум приходят два примера потери терпения.

Следующую историю мне рассказал Магоррея Гелл-Манн, мой коллега, с которым мы независимо друг от друга и одновременно открыли (в начале 1961 г. [23]) $\text{SU}(3)$ -симметрию («восьмеричный путь») и классификацию адронов (частиц, испытывающих «силь-

ное» ядерное взаимодействие, таких как протоны, нейтроны или мезоны), а также связанное с ними существование (1962-1963 гг.) «нижнего» составляющего материю слоя, лежащего ниже молекул, атомов и частиц, — «кварков» [24], три из которых образуют, например, протон или нейтрон. Примерно за два года до открытия Гелл-Манн предложил одну из теоретических ключевых идей, которые в конце концов привели нас к правильному ответу. Я имею в виду модель Янга—Миллса [25] — динамический механизм, в котором результирующее взаимодействие предполагает некоторую алгебраическую конструкцию — «простую группу Ли» (названную в честь норвежского математика Софуса Ли). Простая группа Ли — это множество непрерывных преобразований, Такова, например, группа вращений в обычном пространстве, известная в своей квантовой версии как группа $SU(2)$, Сама модель Янга—Миллса была создана на основе $SU(2)$ с ее тремя параметрами — углами Эйлера. $SU(3)$ — также простая группа Ли и имеет восемь параметров (отсюда и «восьмеричный путь»). Гелл-Манн первым попытался построить группу с четырьмя параметрами — и получил вращения плюс одну трансляцию, но не новую «простую» (т.е. неприводимую) группу. Гелл-Манн пошел дальше и попробовал построить группы с пятью параметрами (и получил вращения плюс две трансляции), шестью параметрами (либо два вращения, либо одно вращение и три трансляции) и дошел до группы с семью параметрами (два вращения плюс одна трансляция). Здесь у него пропал интерес, поскольку стало ясно, что не появилось никакой новой «простой группы. И Гелл-Манн прекратил поиски.

Заметим, что простые группы Ли были перечислены и классифицированы выдающимся французским математиком Эли Картаном [26] в его диссертации, защищенной в 1898 г., и что Дж. Рака объяснил результаты Картана в Принстоне [27], выступая в 1951 г. перед группой физиков, в которую входили Гелл-Манн, Салам, Пайс и другие ведущие специалисты по элементарным частицам, но урок, по-видимому, не был усвоен. Вернувшись к проблеме через два года после консультации с этим математиком, Гелл-Манн понял, что ему следовало дойти до восьми параметров, тогда его ждала бы $SU(3)$. Что касается меня, то я пришел к тому же результату, просто следуя математическим путем — изучая модернизированный вариант классификации, предложенный Е.Б.Дынкиным [28].

Нечто аналогичное происходило в той же области физики в 1974-1976 гг. Джеральд Хофт [29] из Утрехта (1971 г.) «перенормировал» (т.е. показал, как устранить бесконечности, возникающие в теории при квантовании) ту же самую модель Янга—Миллса [25]. Вместе с Мартином Вельтманом [30] он решил испробовать метод на теории гравитации Эйнштейна. Исследователи обнаружили, что каким-то

«чудом» простейший процесс — взаимодействие гравитонов с гравитонами в отсутствие материи — не приводит к возникновению бесконечностей. Затем Вельтман и Хофт попытались применить свой метод к материи, начав со спина $J = 0$, т.е. с бесспиновых мезонов, но обнаружили расходимость, Спин (открытый С.Гоудсмитом и Дж.Уленбе-ком в Лейдене в 1925 г. — см. [15], р. 140) принимает квантованные значения с шагом в $1/2$ кванта. Стенли Дезер и Петер ван Ньювен-хойзен попытались применить новый метод к материи со спином $J = 1/2$ (электронам), но также получили бесконечности. Тогда они обратились к квантам света (фотонам), обладающим спином 1 (т.е. $J = 1$), и снова получили расходимости [31]. Они прекратили методический поиск, давший отрицательный результат при 0, $1/2$, 1. Но в смысле исследовательской программы они «не уходили далеко». В 1976 г. Дезер и Ньювенхойзен вместе с Д.З.Фридманом, С.Феррарой и Б.Зумп-но приняли участие в казалось бы совершенно другой программе [32], которая привела к теоретическому открытию «супергравитации». Это теория, содержащая теорию гравитации Эйнштейна плюс новую частицу с $J = 3/2$. Через несколько лет было показано, что эта частица со спином $J = 3/2$ является ключом к тем типам материи, присутствие которых не портит окончательный результат для гравитонов! Заметим также, что эти методические поиски представляют собой типичные «программы» Лакатоса [33].

6. Некоторые примеры из медицины

Интересным примером везения, увенчавшего поиск «А» открытием самого «А», хотя и по «неправильным» причинам, может служить открытие инсулина [34]. Фредерик Бантинг был скромным городским врачом в Канаде. Ему приходилось читать, что непроходимость протоков поджелудочной железы приводит к вырождению ткани, выделяющей трипсин, но не панкреатических островков ткани (островков Лангерганса). В то время считалось, что диабет вызывается недостаточной секрецией островковой ткани. Попытки лечить болезнь с помощью вытяжки из поджелудочной железы оказались неудачными, и виновником неудач сочли трипсин, который, как полагали, разрушает главное вещество (инсулин). Бантингу пришла в голову идея перевязать протоки у собаки, выждать несколько недель, пока поджелудочная железа не дегенерирует и не прекратит выделять трипсин, после чего удалить островковую ткань и экстрагировать инсулин. Сознавая свою неосведомленность в методах исследования в отсутствие инструментов, Бантинг рассказал об этой идее специалисту из Торонтского университета Дж. Дж. Р.Маклеоду. Тот знал, что сама идея не нова, но имевшаяся в его распоряжении новая техника, а также энтузиазм и увлеченность Бантинга побудили Маклеода при-

нять программу и начать исследования. Схема эксперимента оказалась здоровой, но контрольные эксперименты показали, что она не имеет ничего общего с первоначальными рассуждениями Бантинга. Оказывается, нормальная поджелудочная железа не выделяет никакого трипсина, только неактивный «предвестник», не оказывающий никакого влияния на инсулин. Своим успехом эксперимент в действительности был обязан предложенной Маклеодом экстракции с помощью холодного спирта. Перед нами — случай «плохой мутации», то есть идеи, основанной на неправильной интерпретации предыдущих экспериментов, которая, однако, приводит к удачному результату благодаря посторонней причине.

Обратимся теперь к сравнительно молодой области медицины, а именно хемопсихотерапии [35]. Первые серьезные транквилизаторы — бензодиазепины (валиум, либриум и т.д.) были открыты в 1963 г. благодаря везению. В 1977 г. две группы исследователей открыли особые рецепторы в мозге на эти лекарственные препараты. Отсюда, разумеется, можно сделать вывод, что природа создала их для своих собственных целей сотни тысяч лет тому назад.

Первые эффективные лекарственные средства от депрессии были открыты в середине 50-х гг. Ингибиторы моноаминоксидазы (МАОИ) могут служить типичным примером поиска «А», завершающегося нахождением «А» и «В»: ипрониазид (лекарство против туберкулеза), по наблюдениям клиницистов, вызывал в качестве побочного эффекта эйфорию. Через какое-то время созрела идея использовать этот препарат для лечения депрессий. Так помеха, побочное действие препарата превратилось в новое медицинское средство. Это напоминает нам об открытии Флемингом пенициллина в результате его наблюдения гибели бактерий в приготовленной культуре, когда та была затронута плесенью. Другой класс лекарств — трициклиты, используемые против психозов, возбуждения и горячки, действуют лишь через две недели после приема, и только терпению и увлеченности упрямого швейцарского психиатра мы обязаны тем, что была осознана их медицинская ценность. Превентивное действие солей лития, используемых для борьбы с маниакальной депрессией, было открыто в 1949 г. Ф. Дж. Кейдом, австралийским психиатром, занимавшимся изучением действия мочевой кислоты, о которой говорили, что она вызывает возбуждение. Вводя диким морским свинкам инъекции урата лития, Кейд обратил внимание на то, что морские свинки становятся не возбужденными, а совсем ручными. Отсюда Кейд сделал вывод, что литий — успокаивающий агент. Он дал соответствующие дозы лития десяти госпитализированным больным, страдавшим маниакальной депрессией, шестерым больным шизофренией и трем страдавшим от депрессии. Состояние маньяков существенно улучшилось. На остальных больных литий не оказал никакого действия.

У нормальных медиков поступок Кейда вызвал бы шок, и во многих западных странах его действия сочли бы незаконными. Психиатрическое сообщество отнеслось к сообщению о новом препарате с большим подозрением, и только в 1970 г. литий был разрешен в США после того, как датский психиатр Могенс Шау доказал его эффективность. Как пример везения, это был случай поиска «А», приводящего к открытию «В».

Хемопсихотерапия — новая область психотерапии, тоже молодой науки, совсем недавно официально признанной и все еще страдающей от суеверий, основанных на невежестве и предрассудках. Новые лекарства позволили осознать роль химических процессов в работе мозга, — роль, которая, как теперь понятно, включает в себя механизмы передачи сигналов. Многим в этом новом понимании мы обязаны открытиям психиатрических лекарственных препаратов, сделанным благодаря везению.

Новые области науки особенно богаты открытиями, в основе которых лежит везение. Исходная база данных ограничена, а корпус теоретического знания, с которым требуется согласовывать новые результаты, меньше, чем у старых теорий. Это — эпистемологическое проявление феномена, хорошо известного в биологической эволюции и описываемого моделью «пунктирной» эволюции Н.Элдриджа и С.Дж.Гулда [36]. Эти исследователи обнаружили, что эволюция происходит гораздо быстрее в небольших изолированных популяциях, поскольку шансы мутантов на встречу и размножение в таких популяциях выше, а степень вмешательства со стороны части популяции, не подвергшейся мутациям, ниже.

7. Универсальные характеристики эволюции

Через полтора столетия после Дарвина эволюция стала универсальным «учением». Место для эволюции находится почти в каждой области явлений природы. Эволюция неживой материи тесно связана с эволюцией звезд и известна под названием нуклеосинтеза. Прогресс в сложнейшей структуре атомных ядер — и, как следствие, химических элементов, образующих периодическую таблицу Менделеева от $Z = 1$ до $Z = 92$, — сравним с развитием структуры молекулы ДНК от вируса до человека. В то же время образование, жизненный цикл и коллапс звезд (превращающихся в белых карликов, нейтронные звезды или черные дыры) имеют параллели с живыми организмами и претерпевают эволюционные процессы, регулируемые стадией, достигнутой протекающими внутри них ядерными реакциями: они представляют для звезды своего рода «рабочий чертеж» или «программу», контрольный механизм в том же смысле, в каком ДНК управляет биологической эволюцией [37].

Эволюционные процессы характеризуются случайностным механизмом, порождающим стохастические мутации, плюс селективным механизмом, который решает, какие мутации являются «стабильными» и приводят к возникновению нового вида. Механизм случайных мутаций в нуклеосинтезе в недрах звезд состоит в высокоэнергетических столкновениях ядер, т.е. в температурах порядка сотен миллионов градусов. Источник столь высоких энергий — гравитационная энергия, обусловленная огромной массой звезд. Гравитация приводит к сжатию звезды, которое уравнивается давлением, возникающим вследствие инициированных сжатием ядерных реакций. Стабильные уровни — это различные нуклиды, порождаемые при таких столкновениях. Еще одной особенностью эволюции звезд является диссипативный характер системы, т.е. метаболизм в обобщенном смысле; звезды поглощают атомную «пыль» с малыми Z и перерабатывают их элементы с более высокими атомными номерами (плюс гравитационную энергию, которую несут с собой новые элементы). Явная теле-ономия, «стратегическая» и «тактическая», также характерна для эволюционных систем. С точки зрения тактики, все выглядит так, как будто организм преследует определенную цель, например, превращая водород в гелий, С точки зрения стратегии, все происходит так, как если бы вся эволюция происходила во имя достижения «финальной» цели («от микробов к человеку»). С точки зрения энтропии, эволюционные процессы рожают порядок и уменьшают энтропию, перекачивают ее в окружающую среду, энтропия которой тем самым возрастает быстрее, чем в случае отсутствия эволюции.

8. Везение и эволюция человеческих обществ

Обратимся теперь к истории человека. Здесь на протяжении последнего миллиона лет (за исключением перехода от неандертальца к *Homo sapiens*) доминировала эволюция человеческих обществ. *Homo sapiens* не претерпел существенных генетических изменений, и все же он значительно эволюционировал, группируясь в общества.

В эволюции обществ стабильные эволюционные уровни определяются технологиями. Палеоархеология дает нам описание перехода от палеолита к мезолиту и неолиту, следуя за эволюцией каменных орудий. Затем мы переходим от медных орудий (хальколит) к бронзовому и железному веку. Двести лет назад мы вступили в индустриальный век, а ныне, согласно многочисленным аналитикам, мы живем в век информационной технологии. Последние этапы эволюции не имеют четко выраженных границ, потому что наука также вошла в уравнение. Технологические изменения прединдустриальной эры не следовали за научным прогрессом, в то время как новые технологии

с XVIII в. представляют собой применение успехов науки: Уатт и Стефенсон следуют Бойлю и Мариотту и т.д.

Анализируя социальную историю человечества, мы видим, что технология, а в последнее время и наука представляет собой механизм управления, код или рабочий чертеж эволюции социального организма. Это ДНК социального вида, подобно тому как ядерный состав определяет эволюционную судьбу звезды. С появлением науки и ее быстрым прогрессом общество эволюционирует гораздо быстрее. Каждое технологическое продвижение сказывается на всей картине в целом. После изобретения способа получения электроэнергии или телефона, телеграфа, радио или телефакса характер деятельности людей изменился. Жизнь после открытия вакцинации или антибиотиков стала не такой, какой она была раньше, не говоря уже о влиянии успехов медицины на численность народонаселения. Резюмируя, можно сказать, что научная и технологическая «база данных» представляет собой ДНК общества.

В любом эволюционном процессе должен быть некий исходный главный случайный мутационный механизм. Где он находится в случае социальной эволюции? В 1977 г. я высказал предположение [38] о том, что начиная с XVIII в. именно научные исследования выполняют роль рандомизирующего мутационного механизма для социальной эволюции. Любой существенный прогресс подразумевает некое неожиданное открытие, в противном случае его нельзя было бы считать существенным, он не стал бы новой отправной точкой.

Таков мой тезис, проливающий новый свет на роль счастливого случая: именно счастливый случай движет революционными мутациями в науке, которые подобны ошибкам при репродукции ДНК, и тем самым он дает толчок мутационным шагам в эволюции человеческого общества.

Один из уроков состоит в том, что фундаментальное исследование не следует «направлять». Вы можете «направлять» его только к известным вам целям, но реального прогресса можно достичь, только стремясь к целям, которые вам не известны. Сосредоточение на «нужных» фундаментальных исследованиях означало бы конец прогресса, топтание на одном и том же эволюционном уровне. Конечный результат оказывается таким же, как в случае постепенно исчезающего мутагенного воздействия. Попытки направить развитие науки в «полезное» русло неоднократно предпринимались в СССР в 50-е гг., в Китае во время так называемой «культурной революции» и в США (хотя и в более слабой форме из-за демократического устройства общества) в 1965-1970 гг.

Из сказанного можно извлечь урок и относительно порядка предоставления грантов на научные исследования. Обычно фонд, предоставляющий грант, требует подачи заявки, включающей план

предполагаемых исследований и их цели. Очевидно, что открытие, совершаемое благодаря везению, не может быть предсказано. Таким образом, наиболее важные результаты никогда не будут фигурировать в заявках. Следовательно, тот, кто предоставляет гранты, не должен относиться к заявкам слишком серьезно. Они важны только в том смысле, что если вы не «нацелились» на серьезный методический поиск «А», то вы никогда не откроете «В» благодаря везению. И все-таки программа исследований сама по себе не столь важна. Главное заключается в том, сумеет ли исследователь распознать «В», когда он с ним повстречается. Прошлые заслуги могут иногда служить руководством для отбора. Что касается новичка в исследовательской работе, все еще не существует другого способа судить о предполагаемых результатах, кроме как оценивая тот способ, каким он выстроил свой проект. И в этом случае намеченная цель не столь существенна, гораздо важнее излагаемый в заявке метод.

Что касается «нужного», то я хотел бы процитировать одно место из книги Алистера Кука «Американцы» [39]. Это было написано в 1972 г. — к концу периода «полезности» в США — как ответ на заявление Никсона о «фронтальной атаке на рак», Кук рассказывает историю нашего понимания роли предстательной железы от Хан-тера, который в XVIII в. заметил, что после кастрации предстательная железа быка уменьшается в размерах и становится дряблой, до Ч.Хаггинса, удостоенного в 1966 г. Нобелевской премии за разработанный им метод лечения рака предстательной железы человека. Во временном промежутке между Хантером и Хаггинсом были и другие исследователи. Дж.Гриффитс (1885 г.), занимаясь изучением кротов и ежей, обратил внимание на сезонные изменения предстательных желез этих животных. В 1926 г. в Париже два физиолога обнаружили, что могут ослабить деятельность предстательной железы у кротов, вводя им женский половой гормон. Затем пришел черед открытию во внутренних органах человека фермента фосфатазы, за которым последовало открытие фосфатазы в секрети предстательной железы человека. В 1938 г. избыток фосфатазы был обнаружен в крови заболевших раком предстательной железы. В 1940 г. Хаггинс, экспериментируя на собаках, обнаруживает, что функционирование предстательной железы производит мужской половой гормон. Изучая старых собак с опухолями, он научился воздействовать на рост опухолевых тканей с помощью гормональных инъекций, что позволило ему в конечном счете излечивать рак предстательной железы у человека и привело его к Нобелевской премии. Нетрудно представить себе, сколь невелики были бы шансы на получение поддержки на всех этапах этой длинной цепи исследований, увенчавшейся открытием Хаггинса, если бы всякий раз приходилось доказывать их «полезность».

Ирония судьбы с особой силой проявилась в эволюции математической логики и теории множеств. Обе науки снискали себе славу наиболее абстрактных и эзотерических областей математики, и даже в большей мере не математики, а философии. Затем появился парадокс Рассела— Уайтхеда: включает ли множество всех множеств, которые не включают самих себя, — включает ли оно самого себя? Из этого парадокса следовало, что теория множеств сама нуждается в дополнительном исследовании и анатомировании, и она стала еще более эзотерической теорией. Гедель доказал полноту исчисления предикатов (1930 г.) и неполноту арифметики (1931 А) [40]. Он пользовался вычислимыми функциями, и некоторые математики спрашивали, включали ли вычислимые функции, которыми он пользовался, все вычислимые функции. Это привело к переопределению «вычислимости». Для того, чтобы определить «вычисление», Алан Тьюринг изобрел «мыслящую» машину. Разразилась Вторая мировая война. Тьюринг [41] был привлечен к работам по криптографии, требовавшим большого объема вычислений. Тьюринг разработал машину, которая привела к изобретению современного компьютера. Независимо от него разработкой компьютера занимался Дж. фон Нейман в США, участвовавший в усовершенствовании системы управления огнем зенитной артиллерии.

Представьте себе, что необходимость развития теории множеств на протяжении без малого ста лет приходится обосновывать обещанием, что в один прекрасный день она может пригодиться при создании одной из наиболее полезных в истории человечества машин. Мыслимо ли это? Сочтет ли какой-нибудь фонд подобные доводы убедительными?

Перед нами — его величество счастливый случай: это прежде всего везение в приложениях, но не только; это везение в рождении целой новой науки.

Я хотел бы поблагодарить проф. Айвена Л.Бонту и Фонд Эмиля Штаркенштейна за любезное приглашение прочитать на симпозиуме Эмиля Штаркенштейна 1992 г. «Решение задач в медицинском исследовании» лекцию о роли счастливого случая и за гостеприимство в Роттердаме. Я рад представившейся возможности принять участие в работе симпозиума и благодарен различным докладчикам, расширившим мои горизонты и пополнившим мои знания о роли везения в медицинских исследованиях и фармакологии. Я также узнал о том, что за личность был сам Эмиль Штаркенштейн. Принадлежа к поколению, которое еще помнит о катастрофе, пережитой еврейским народом во время Второй мировой войны, я испытываю по отношению к этому человеку чувство личного долга. Я также счастлив представившейся мне возможностью внести свою лепту в укреп-

ление памяти об одном из моих братьев, погибших во времена геноцида, — о человеке, непосредственно способствовавшем счастью своих соотечественников.

Тезисы моего доклада представляют собой синтез трех направлений, разработкой которых я занимался с 1977 г. в контексте изучения эволюции и роли случайного элемента в научных исследованиях. В разделе 3 изложен подход, предложенный мною совместно с А.Канторовичем в 1989 г. [13], к оценке вклада стохастических элементов в развитие науки. Раздел 7 затрагивает вопросы, относящиеся к общей теории эволюции (еще не опубликованной). В общих чертах я изложил ее в лекциях, прочитанных в Тель-Авивском университете. Раздел 8 посвящен подходу, изложенному впервые в 1977 г. Речь идет о роли исследования как случайного элемента, питающего социальный прогресс [38].

Перевод Ю.А.Данилова

Примечания

1. См., например, работу Бертана Рассела: Human knowledge, its scope and limits. George Allen and Unwin Ltd., L. 1948, pp. 29-30. См. также, например: Bruhat Y. The Cauchy problem. In: Gravitation., an introduction to current research. L, Witten ed., John Wiley and Sons. N.Y.-L, 1962, pp. 130-164.
2. Kolmogorov A.N. Prob. Inf. Transm., № 1, 1965, p.1; Chaitin G. - «J. Ass. Comp. Math.», № 13, 1966, p.145.
3. Bell J.S. — «Rev. Mod. Phys.», № 38, 1966, p. 447. Экспериментальные данные приводятся в: Aspect A. et al. - «Phys. Rev. Lett», № 49, 1982, p. 1804.
4. Einstein A., Podolsky B. and Rosen N. - «Phys. Rev.» № 47, 1935, p.777.
5. Chirikov B.V., - «J. Nucl. En.», Cl, 1960, p. 253; Lorenz E.N., - «J. Atm. Sc», № 20, 1963, p. 130; Henon M. and Heiles C, - «Astron. J» № 69, 1964, p. 73.
6. Spencer H. Principles of biology, v. 1, 1864; Darwin C The origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life (1859), reprinted by Mentor Books, N.Y., 1958.
7. Bergson H. L'evolution creatrice. Presses Un. de France, P., 1948; Shaw G.B. Back to Methuselah, Penguin Books, 1945.
8. Schroedinger E. What is life. Cambridge Un. Press, 1944.
9. Monod J. Le hasard et la necessite, Ed. du Seuil, P., 1970.
10. Campbell D.T. Evolutionary epistemology. In: The philosophy of Karl Popper. Vol. 1, P.A. Schilpp, ed., La Salle (Open Court), pp. 413-463.
11. Feyerabend P. Against method. Schoeken Books. N.Y., 1977.
12. Thagard P. Against evolutionary epistemology. In: PSA, № 1, 1980, p. 187.
13. Kantorovich A. and Ne'eman Y. Serendipity as a source of evolutionary progress in science. - «Stud. hist. phil. sci», vol. 20, 1989, p. 505-529.
14. Kuhn T.S. The structure of scientific revolutions, Un. of Chicago Pr., Chicago, 1962.
15. Segre E. From X-rays to quarks, W.H. Freeman Co., N.Y., 1980.
16. Michelson Livingston D. The master of light. Un. of Chicago Press. Chicago, 1973.
17. Kastler A. In: To fulfill a vision. Y. Ne'eman ed., Addison-Wesley Pub., Reading, Mass. 1981, pp. 77-78.

18. Kuhn T.S. Black body theory and the quantum discontinuity (1894-1912). Oxford Un. Press. Oxford, 1978.
19. Thomson G. (Lord Kelvin), The philosophical magazine and L. of science. 2, sixth series, 1901, 1.
20. Bednorz G.E. & Multer K.A. - «Z. Phys. B (Condensed Matter)», № 64, 1986, p. 189.
21. Bardeen J., Cooper L.N. and Schrieffer J.R. - «Phys. rev.», № 106, 1957, p. 162 and № 108, 1957, p. 1175.
22. Kamerlingh Onnes H. - «Comm. Phys, Lab. Uni.» Leiden, № 119, 120, 122, 1911.
23. Ne'eman Y. - «Nucl. phys.», № 26, 1961, p. 222; Gell-Mann M., 1961, unpub. and «Phys. Rev.», № 125, 1962, p. 125. См. биографическую сторону открытия в кн.: «Symmetries in physics (1600-1980)», M.G. Doncel et al., eds., Uni. of Barcelona Pub., 1987, articles by M. Gell-Mann and by Y. Ne'eman, pp, 473-540.
24. Goldberg H. and Ne'eman Y., «Nuo. cim.», № 27, 1963, p. 1; Gell-Mann M. - «Phys. lett.», № 8, 1964, p. 214; G. Zweig, 1964, unpub.
25. Yang C.N. and Mills H. - «Phys. rev.», 96, 1954, 192.
26. Cartan E. Sur la structure des groupes de transformations finis et continus (thesis, 1894), reprinted by Vuibert, 1933.
27. Racah G. Lectures on Lie groups. Springer tracts in modern phys., № 37. Springer Verlag, B. 1965.
28. 28 Dynkin E.B. - «Uspekhi mat. nauk», № 2, 1947, p. 4, 59-127 translations 17); «Trudi Mos.Mat.Obs.», № 1, 1952, p. translations, series 2, № 6, 1957).
29. Hooft G.'t - «Nucl. phys.», B33, 1971, p. 173 and B35, 1971, p. 167.
30. Hooft G.'t and Veltman M., «Ann. I.H. Poincare», № 20, 1974, p. 69.
31. Deser S., Nieuwenhuizen P.v., — «Phys. rev.», D10, 1974, p. 401, 410; same authors & Tsao H.S., - «Phys. rev.», D10, 1974, p. 3337.
32. Freedman D.Z., Nieuwenhuizen P.v., Ferrara S. - «Phys. rev.», D13, 1976, p. 3214; Zumino B. Deser S., - «Phys. lett.», 62B, 1976, p. 335.
33. Lakatos I. Falsification and the methodology of scientific research programmes. In: Criticism and the growth of knowledge. I. Lakatos and A. Musgrave, eds. Cambridge Un. Press. Cambridge, 1970.
34. Bliss M. The discovery of insulin. P. Harris pub. Toronto, 1984,
35. Lickey M.E. and Gordon B. Drugs for mental illness. W.H. Freeman & Co. N.Y., 1983.
36. Eldredge N, and Gould S.J. (1972); См., например: Gould S.J. In: Perspectives on evolution. R. Milkman ed., Sinauer Pub., 1982.
37. Теория принадлежит E.M. and G. Burbidge, W. Fowler and F. Hoyle. См., например: Tayler R.J. Stars, Their structure and evolution. Wykeham Pub., L. 1970.
38. Ne'eman Y, Science as evolution and transcendence. Fairchild Coll., Caltech, 1977, unpub; repub. in: «Acta clent. venezolanam» № 31, 1980, p. 1; «Metabolic, pediatric and systemic ophthalmology», № 11, 1983, p. 12,
39. Cooke A. The Americans. Penguin Books. L., 1980, pp. 79-83.
40. Crossley J.N, at al. What is mathematical logic? Oxford Un. Press. Oxford, 1972.
41. Hodges A. Alan Turing: The enigma of intelligence. Counterpoint, Unwin Paperbacks, L., 1983.