

Новиков Н.Б.

Аспирант Института психологии РАН

Россия, г. Москва

Novikov N. B.

Postgraduate Student, Institute of Psychology RAS

Russia, Moscow

ТЕОРИЯ ПРАВДОПОДОБНЫХ РАССУЖДЕНИЙ Д.ПОЙА И 18-Я ПРОБЛЕМА С.СМЕЙЛА. ЧАСТЬ 2

Аннотация: Данная статья является продолжением нашей предыдущей работы, посвященной изложению теории правдоподобных рассуждений Д.Пойа и ее связи с восемнадцатой проблемой С.Смейла. В настоящей статье мы кратко описываем успехи в конструировании индуктивных машин (машин, использующих индуктивные рассуждения). Мы также показываем ошибочные гипотезы, сформулированные выдающимися учеными в результате использования правдоподобных рассуждений. Анализируя эти ошибки, мы приходим к выводу, что, во-первых, правила правдоподобных рассуждений не являются строгими (детерминированными) алгоритмами. Во-вторых, индукция и аналогия – ключевые процедуры правдоподобных рассуждений - являются теми компонентами мышления, которые и обуславливают его невычислимость, обсуждавшуюся в книге Р.Пенроуза «Новый ум короля». Наконец, мы рассматриваем концепцию израильского физика Ю.Неемана, согласно которой феномен «серендипити» (элемент «везения») играет существенную роль в научном исследовании. Данная концепция вместе с теорией правдоподобных рассуждений Д.Пойа позволяют найти решение 18-й проблемы С.Смейла, а именно его вопроса: каковы пределы интеллекта – как искусственного, так и человека?

Ключевые слова: индуктивные машины, ошибки выдающихся ученых, правдоподобные рассуждения, индукция и аналогия, «невычислимость» творческого мышления, феномен «серендипити», пределы интеллекта (в интерпретации С.Смейла).

Abstract: This article is a continuation of our previous work devoted to the presentation of D. Polya's theory of plausible reasoning and its connection with the eighteenth problem of S. Smale. In this article, we briefly describe advances in the design of inductive machines (machines that use inductive reasoning). We also show erroneous hypotheses formulated by eminent scientists as a result of the use of plausible reasoning. Analyzing these errors, we come to the conclusion that, firstly, the rules of plausible reasoning are not strict (deterministic) algorithms. Secondly, induction and analogy - the key procedures of plausible reasoning - are those components of thinking that determine its uncomputability, which was discussed in the book by R. Penrose "The Emperor's New Mind". Finally, we consider the concept of the Israeli physicist Y. Neeman, according to which the phenomenon of "serendipity" (an element of "luck") plays an essential role in scientific research. This concept, together with D. Polya's theory of plausible reasoning, allows us to find a solution to the 18th problem of S. Smale, namely his question: what are the limits of intelligence - both artificial and human?

Key words: inductive machines, mistakes of eminent scientists, plausible reasoning, induction and analogy, "incomputability" of creative thinking, serendipity phenomenon, limits of intelligence (in the interpretation of S. Smale).

1. Рэй Соломонов и другие: конструирование индуктивных машин

Одним из первых исследователей, кто осознал необходимость оснащения искусственного интеллекта функцией индуктивного вывода, был американский математик Рэй Соломонов (1926-2009). В предыдущей статье мы говорили о «колмогоровской теории сложности», или алгоритмической теории информации, сформулированной А.Н.Колмогоровым в 1965-1969-е гг. Мы

отмечали, что, разрабатывая данную теорию, А.Н.Колмогоров установил весьма интересный факт. Оказалось, что длина описания закономерных (регулярных) последовательностей символов короче длины описания случайных последовательностей. Проще говоря, сложность случайных последовательностей превосходит сложность последовательностей, управляемых той или иной закономерностью.

Р.Соломонов – ученый, который независимо от А.Н.Колмогорова пришел к той же математической теории сложности. Он так же, как и его российский коллега, предложил основную идею этой теории – определять сложность той или иной последовательности символов (строки) как длину кратчайшей программы, которая выводит заданную последовательность (строку). Ему тоже было известно, что закономерные последовательности можно «сжать» («архивировать»), тогда как абсолютно случайные последовательности не допускают такого «сжатия» - длина описания таких последовательностей равна самой длине этих последовательностей.

Справедливости ради укажем, что в 1969 г. правильное определение колмогоровской сложности сформулировал еще один американский математик - Грегори Чейтин (Gregory Chaitin), автор таких статей, как [1], [2].

Кстати, эмпирическая индукция, которую исследовал Д.Пойа, - а такая индукция, как мы знаем, всегда неполна - обладает большей степенью сложности, чем полная индукция (строгость которой превращает ее в своеобразный индуктивный силлогизм). Причина в том, что в неполной индукции исходные посылки, если даже они верны, определяют истинность обобщения (финального вывода) лишь с определенной степенью вероятности. А в случае полной индукции (силлогизма) ситуация совершенно иная: здесь исходные посылки, если они верны, однозначно определяют истинность финального умозаключения.

В 1956 г. Р.Соломонов подготовил доклад «An inductive machine», с которым выступил летом того же года на конференции по проблемам искусственного интеллекта, которая проходила на территории колледжа

Дортмут (США). Участниками конференции были такие исследователи, как Джон Мак-Карти, Марвин Минский, Герберт Саймон (последний прославился разработкой программы «Логик-теоретик» и в 1978 г. получил Нобелевскую премию по экономике). В 1958 г. указанный доклад Р.Соломонова был переведен на русский язык и опубликован в математическом журнале.

Итак, Р.Соломонов в статье [3] поясняет суть своего проекта: «Описана машина, рассчитанная на то, чтобы составлять логические выводы подобно человеку. Выводы по индукции составляются путем классификации событий и исходов этих событий по соответствующим категориям. Вывод по индукции в каком-либо отдельном случае делается на основании среднего хода событий рассматриваемой категории. Точность вывода во многом зависит от применяемых категорий. Науку большей частью можно рассматривать как попытки отыскания надлежащих способов классификации явлений по категориям.

Машина для составления выводов по индукции из категорий, бывших полезными в прошлом, при помощи системы небольших преобразований выводит новые категории, относительно которых можно сказать с достаточным основанием, что они будут полезны в будущем. Затем проверяется на опыте их пригодность для предсказания, и новые категории, оказавшиеся пригодными, в сочетании со старыми полезными категориями образуют другие категории. Эти категории в свою очередь испытываются, и процесс повторяется таким образом много раз.

Была спроектирована упрощенная машина для пояснения работы таких устройств. Поскольку в ней используется лишь часть некоторой полной системы преобразований, машина выполняет лишь сравнительно простые задачи на самообучение. <...> Работа машины была описана с подробностями, почти достаточными для программирования на цифровой вычислительной машине. Даже на таком элементарном уровне применяемые эвристические (действующие по догадке) устройства естественным образом приходят к распознаванию структурных аналогий и к выполнению подстановок» [3, с.10].

В настоящее время (спустя десятилетия после выхода указанной статьи Р.Соломонова) созданы различные модели систем искусственного интеллекта, программы которых включают индуктивные схемы рассуждений. Например, в 2009 г. ученые под руководством профессора информатики в Аберистуитском университете (Уэльс, Великобритания) Росса Кинга создали робота, способного выполнять ряд важных функций, связанных с проведением научного исследования. Р.Кинг и его коллеги назвали этого робота «Адамом».

Создавая его, специалисты изначально преследовали цель сконструировать систему, способную формировать гипотезы, разрабатывать и проводить эксперименты для проверки этих гипотез, интерпретации получаемых результатов и повторения таких циклов до тех пор, пока не будут получены новые сведения. «Адам» должен был осуществлять идентификацию генов, кодирующих ферменты, которые вовлечены в метаболизм дрожжевой клетки. Робот применял экспериментальный метод, состоящий в том, он удалял (выключал) в дрожжевых клетках тот или иной ген, после чего исследовал эффекты такого удаления.

На основании этих исследований (наблюдений) «Адам» сформулировал гипотезы относительно роли конкретных генов в дрожжевой клетке. В ходе проведенного скрининга (поиска) «Адам» выдвинул в общей сложности 20 гипотез относительно функций генов. Двенадцать из этих гипотез были подтверждены, семь – представляли собой повторение того, что уже известно в науке о генетике дрожжей, а одно из предположений оказалось ошибочным.

Интеллектуальные способности «Адама» описаны в статье Р.Кинга [4], в которой автор говорит: «Адам выдвинул и подтвердил экспериментами 20 гипотез о том, какие гены кодируют конкретные ферменты в дрожжах. Его выводы, как и все научные заявления, требуют подтверждения. Поэтому мы проверили их, используя недоступные ему другие источники информации и дополнительные эксперименты, которые провели сами. В результате было установлено, что семь из выводов Адама уже известны, один ошибочен, а 12 оказались новыми для науки» [4, с.46].

Далее автор поясняет, почему он наделил свою машину способностью индуктивно обобщать полученные данные: «Как «рассуждает» робот-ученый? Он использует те же способы, что и люди. Первый – дедуктивное умозаключение – основа математики и информатики. Дедуктивный вывод «достоверен» в том смысле, что на основе истинных положений вы можете вывести только истинные новые положения. К сожалению, в отсутствие законченной «теории всего» дедукции недостаточно для науки, поскольку она может только выводить следствия из уже известных фактов» [4, с.44].

«Важнейшая особенность научного познания, - продолжает Р.Кинг, - состоит в том, что узнать истину путем чисто дедуктивных выводов из предположений невозможно. Необходимы эксперименты в реальном мире. Если Адам предполагает, что Дейзи – лебедь, проверить истинность этого предположения он может только экспериментальным путем, поймав Дейзи и посмотрев, кто она: лебедь, утка или кто-то еще. Индукция... позволяет выдвигать новые гипотезы. Если все лебеди, которых мы знаем, белы, естественно предположить, как и сделал Аристотель, что белы вообще все лебеди. Но индукция также не гарантирует достоверности, и предположение Аристотеля было опровергнуто, когда в Австралии были обнаружены черные лебеди. Мы постоянно используем индукцию в повседневной жизни» [4, с.44].

После того, как научная команда Р.Кинга убедилась в успешном функционировании «Адама», она создала еще одну интеллектуальную систему, способную вести долгий поиск, т.е. осуществлять перебор большого числа вариантов, формировать гипотезы и проверять их в эксперименте. Эта система была названа «Ева». Робот «Ева» была нацелена на выявление химических соединений, которые могут блокировать развитие малярии. В 2018 г. она сделала свое маленькое «открытие» - обнаружила, что один из компонентов зубной пасты может пригодиться в качестве лекарства от этого заболевания. Вещество, на которое указал робот – синтетическое соединение триклозан, известный своими антибактериальными и противогрибковыми свойствами и использующийся в моющих средствах, а также в зубной пасте. Ранее было

установлено, что триклозан подавляет рост паразита, вызывающего малярию (подавление происходит за счет замедления синтеза жирных кислот в малярийном плазмодии). Иные механизмы действия триклозана были неизвестны. Интеллектуальная система «Ева» установила один из этих новых механизмов: выяснилось, что триклозан может подавлять размножение паразитов, нарушая синтез фермента DHFR. Эта находка «Евы» описана в статье [5].

Несомненно, что если бы Р.Пенроуз писал свою книгу «Новый ум короля» [6] не в 1989 г., а в наше время, он непременно обратил бы внимание на эти модели искусственного интеллекта, возникшие благодаря постепенному совершенствованию компьютерных технологий. Он также заметил бы, что специалисты, создающие эти модели, берут на вооружение идеи Д.Пойа [7] и его последователей, идеи относительно важной роли индуктивных стратегий (в том числе аналогии) в творческом мышлении.

Связывая невычислимость человеческого сознания с тем, что мы называем «внезапным озарением», Р.Пенроуз аргументировал свою позицию эпизодом из жизни Анри Пуанкаре, а именно обстоятельствами, при которых великий французский математик осознал связь между преобразованиями, используемыми в теории автоморфных («фуксовых») функций, и преобразованиями, которые применяются в неевклидовой геометрии – геометрии Лобачевского. Напомним, что автоморфные функции названы в честь немецкого математика, ученика Карла Вейерштрасса, Лазаруса Фука (1833-1902), который впервые предложил исследовать эти функции, являющиеся расширением класса эллиптических функций.

Р.Пенроуз в книге [6] приводит фрагмент воспоминаний А.Пуанкаре о том, как он обнаружил упомянутую связь: «...Я покинул Кон, где я жил в то время, чтобы принять участие в геологической экспедиции, организованной Горной школой. Впечатления от поездки заставили меня забыть о моей математической работе. Достигнув местечка Кутонс, мы сели в омнибус, чтобы добраться на нем до следующего пункта назначения. В тот момент, когда я ставил ногу на

подножку, мне пришла в голову идея, которая, казалось, никоим образом не вытекала из моих прошлых раздумий, что преобразования, используемые мной для определения функций Фукса, были идентичны определенным преобразованиям в неевклидовой геометрии. Я не проверил эту идею. У меня просто не было времени, так как когда я занял свое место в омнибусе, я продолжил прерванную беседу – но я был совершенно уверен в правильности моей догадки. Вернувшись в Кон, я выбрал свободное время и, проверив для собственного спокойствия свое предположение, убедился в его справедливости» [6, с.338].

Р.Пенроуз интерпретировал данный эпизод, описанный А.Пуанкаре, как замечательную иллюстрацию того «внезапного озарения», «молниеносной догадки», которая и является фактором, обуславливающим невычислимость сознания. Но что же в действительности произошло с А.Пуанкаре, когда он «ставил ногу на подножку омнибуса»? Теория правдоподобных рассуждений, построенная Д.Пойа [7], а также современные данные о работе автоассоциативной системы памяти нашего мозга позволяют дать простой и верный ответ на этот вопрос.

До того, как принять участие в геологической экскурсии, А.Пуанкаре изучал математические преобразования, используемые в геометрии Лобачевского. До этой экскурсии он также изучал автоморфные функции (названные, как уже отмечено, в честь Лазаруса Фукса) и преобразования, осуществляемые над ними. В 1880-х годах эти функции представляли собой «необследованную территорию», тогда как геометрия Лобачевского находилась в более «выгодном положении», она была основательно изучена (большой вклад в прогресс этой геометрии внес Феликс Клейн, автор знаменитой «Эрлангенской программы»). В мозгу А.Пуанкаре, сконцентрированном на загадках автоморфных функций, «сработал» автоассоциативный механизм нашей памяти: он вспомнил, что преобразования, применяемые в одном разделе математики, похожи на преобразования, существующие в другом. В результате французский математик

обнаружил аналогию между двумя разными «пластами» информации, ту аналогию, роль которой подчеркивал Д.Пойа [7].

Кажется, читатель уже догадывается, где нужно искать невычислимость нашего мышления: не в феномене «внезапного озарения», а в индукции и аналогии – интеллектуальных стратегиях, позволяющих открывать новое, но не обладающих свойствами строгих (детерминированных) алгоритмов. Да, именно в них!

2. Компоненты мышления, обуславливающие его невычислимость

Вспомним высказывание Д.Пойа о том, что «правдоподобное рассуждение рискованно, спорно и условно» [7]. Отметим, что в неполной индукции исходные посылки, если даже они верны, определяют истинность обобщения (финального вывода) лишь с определенной степенью вероятности. Эту особенность эмпирической индукции можно конкретизировать. В неполной индукции вывод о множестве делается на основании рассмотрения лишь части элементов этого множества. Этот вывод может оказаться ошибочным по той причине, что элементы множества, не рассмотренные нами, могут противоречить нашей гипотезе. То же самое можно сказать об аналогии, которая заключается в том, что, обнаружив сходство между двумя предметами по конкретным признакам, мы постулируем, что эти предметы должны быть сходными и в других признаках (которые мы еще не изучили).

В свое время ученые (Николя де Кондорсе (1743-1794), Пьер Симон Лаплас (1749-1827) и др.) пытались связать индукцию с математической вероятностью. При этом предполагалось, что можно с любой необходимой степенью точности определить вероятность того или иного умозаключения, сделанного по индукции или аналогии. Основная идея такого подхода заключалась в том, что вероятность индуктивного вывода можно вычислить, если 1) точно знать количество элементов множества, а также 2) количество этих элементов, рассмотренных (исследованных) перед тем, как сделать обобщающее суждение о множестве. В

дальнейшем, если из общего количества элементов множества вычесть величину, соответствующую количеству исследованных элементов данного множества, можно узнать, какова степень вероятности индукции.

Однако эти теоретические рассуждения не имеют никакой ценности в силу ряда простых причин. Во-первых, практика научного исследования показывает, что ученые делают обобщающие выводы о том или ином множестве задолго до того, как изучат все его элементы. Во-вторых, они используют аналогию для переноса идей и методов из одной области знаний в другую, не дожидаясь, когда в их распоряжении появятся сведения, убедительно обосновывающие их аналогию. В-третьих, многие природные множества (системы) состоят из бесконечного числа элементов: чтобы изучить каждый из этих элементов, нужно обладать бесконечным временем. Наконец, четвертая причина заключается в том, что предметы (объекты) того или иного множества часто бывают недоступными для исследования, а материальные ресурсы, способные обеспечить их доступность, ограниченными. Ввиду ограниченности ресурсов мы вновь не можем знать свойства каждого элемента того или иного множества.

После безуспешных попыток математически точно вычислить вероятность выводов, основанных на индукции, Пьер Лаплас вынужден был констатировать недостижимость этой цели. Д.Поля в книге [7] приводит слова разочарования Лапласа: «Трудно определить вероятность результатов индукции» [7, с.338].

К аналогичному заключению пришел английский ученый Джон Мейнард Кейнс (1883-1946), занимавшийся в молодости математикой, но впоследствии прославившийся за вклад в экономическую науку: «Мы знаем, что вероятность хорошо установленной индукции велика, но когда нас просят назвать ее степень, мы этого сделать не можем. Здравый смысл говорит нам, что некоторые индуктивные аргументы сильнее, чем другие, и что некоторые являются очень сильными. Но насколько сильнее или насколько сильными, выразить мы не можем» [7, с.338].

Сам Д.Поля, внимательно проанализировавший данный вопрос, подвел следующий итог: «Никто еще не предложил ясного и убедительного метода

вычисления правдоподобностей в нетривиальных случаях, и если мы ясно себе представим конкретные ситуации, в которых важна правильная оценка правдоподобностей (что мы уже сделали), то мы легко можем понять, что любое приписывание правдоподобностям определенных числовых значений подвергается большой опасности показаться глупым» [7, с.368].

Повинуясь любопытству (или, лучше сказать, любознательности), зададимся вопросом: можно ли точно определить вероятность индуктивных выводов с помощью колмогоровской теории сложности, то есть алгоритмической теории информации? Ответ отрицательный. Если бы ситуация была иной, то можно было бы создать вычислительную машину, которая, пользуясь колмогоровской теорией сложности, заранее определяла бы степень достоверности конкретных гипотез, отбрасывая неверные без проведения каких-либо экспериментальных проверок. Но, как мы знаем, без подобных эмпирических проверок невозможно отличить достоверное знание от ошибочного (вспомним тезис В.И.Арнольда: «математика – экспериментальная наука»).

Выше мы говорили о статье Р.Соломонова [3], которая первоначально представляла собой доклад, озвученный им в 1956 г. в Дортмуте (США) на конференции, на которой обсуждалась возможность создания компьютерных программ, способных к разумному поведению. На этой конференции, как мы отмечали, присутствовали будущие светила компьютерной науки: Джон Мак-Карти, Марвин Минский, Герберт Саймон и др. Общаясь с Дж. Мак-Карти, Р.Соломонов сообщил ему, что существуют задачи, которые могут доставить массу «неприятностей» вычислительным машинам будущего. В качестве подобной задачи он назвал ту, в которой требуется: учитывая начальный сегмент (отрезок) последовательности символов, предсказать продолжение этой последовательности. Дж. Мак-Карти ответил коллеге, что машина с надлежащим программным обеспечением сможет без труда решить эту задачу, то есть, обладая неполной информацией о последовательности, предложить разумную экстраполяцию последовательности далеко за пределы того сегмента, который

известен. В этой, казалось бы, простой задаче, на самом деле и заключена ключевая проблема индукции (по свидетельству специалистов, ее впервые сформулировал шотландский философ Дэвид Юм (1711-1776)). Дж. Мак-Карти ошибся: неполная информация о той или иной последовательности событий не содержит в себе гарантий справедливости той экстраполяции (предсказания), которую вы предложите. Соответственно, машина, осуществляющая подобные экстраполяции, в одних случаях будет «попадать в цель», а в других ошибаться.

Иллюстрацией сказанного могут служить попытки современных математиков получить эмпирические (индуктивные) подтверждения гипотезы Б.Римана о нулях дзета-функции. В статье отечественного математика Ю.В.Матияевича [8] приводится таблица, показывающая, как ученые проверяли гипотезу немецкого математика, вычисляя значения дзета-функции Римана, начиная с работы А.Тьюринга (1953).

Таблица 1. Проверка гипотезы Римана, начиная с А.Тьюринга

Год	Количество нулей	Автор
1953	1104	A.M. Turing
1956	25000	D.H. Lehmer
1958	35337	N.A. Meller
1966	250 000	R.S. Lehman
1968	3500 000	J.B. Rosser, J.M. Yohe, L. Schoenfeld
1977	40 000 000	R.P. Brent
1979	81 000 001	R.P. Brent
1982	200 000 001	R.P. Brent, J. van de Lune, H.J.J. te Riele, D.T. Winter
1983	300 000 001	J. van de Lune, H.J.J. te Riele
1986	1500 000 001	J. van de Lune, H.J.J. te Riele, D.T. Winter
2004	900 000 000 000	S. Wedeniwski
2004	10000 000 000 000	X. Gourdon

Из таблицы видно, что в 2004 г. ученые, вычисляя значения дзета-функции Римана, дошли уже до 10 триллионов, и как будто есть основания полагать, что раз гипотеза Римана верна на отрезке от нуля до 10 триллионов, то можно сделать обобщающий индуктивный вывод, что она верна вообще. Если формулировать ситуацию на языке задачи Р.Соломонова, то у нас есть «сегмент последовательности» от нуля до 10 триллионов. Спрашивается: верна ли гипотеза Римана далеко за пределами этого сегмента? Сегодня на этот вопрос никто не ответит, потому что наша индукция неполна.

Существует множество сохранившихся в истории науки примеров, когда экстраполяция, сделанная на основе неполной информации, в лучшем случае была неопределенна (нельзя сказать, верна она или нет), а в худшем случае сбивала с правильного пути. И лишь позднее появлялись факты, демонстрировавшие некорректность той или иной неполной индукции.

Таковы парадоксы научного познания. Методы, с помощью которых мы открываем новые истины, одновременно являются источниками наших заблуждений. Таким образом, правдоподобные рассуждения, представленные, в частности, индукцией и аналогией и описанные в книгах Д.Пойа, позволяют ответить на вопрос С.Смейла, содержащийся в его восемнадцатой проблеме. Правдоподобные рассуждения, наряду с теоремой Геделя о неполноте и теоремой Тьюринга о неразрешимости проблемы остановки, являются ограничениями (запретами), не позволяющими творческой деятельности «скатиться» до уровня «неповоротливых» детерминированных алгоритмов. Правдоподобные рассуждения являются «пределами» в интерпретации С.Смейла. Пределами не процесса научного познания (как можно было бы ошибочно заключить), а алгоритмизации творческого мышления. Читатель, наверняка, понимает, в чем дело: 1) процесс научного познания и 2) алгоритмизация творческого мышления – это совершенно разные вещи. Теория правдоподобных рассуждений Д.Пойа показывает, что существуют ограничения для первого пункта, но никак не для второго.

3. Ошибочные гипотезы выдающихся ученых

Можно возразить, что схемы правдоподобных рассуждений чреватые ошибочными заключениями, если эти схемы использует человек, не искушенный в вопросах методологии научного исследования. Когда же индукцией и аналогией пользуются известные ученые, то им каким-то образом удается избегать рискованных, плохо обоснованных гипотез. Безусловно, люди, профессионально занимающиеся наукой, руководствуются определенными критериями при отборе фактов, допускающих обобщение, и проявляют осторожность при формулировке гипотез. Однако при всей этой осторожности и осмотрительности, когда вы работаете на переднем крае науки и когда только методом проб и ошибок можно совершать «броски в неизвестность», вам в любом случае нужно рисковать. А рисковать – значит выдвигать предположения, которые могут не найти экспериментального подтверждения.

Следует учитывать, что неверные гипотезы тоже способны стимулировать развитие науки, способствовать ее прогрессу. Когда имеется та или иная гипотеза, она определяет постановку эксперимента. У такого эксперимента может быть два эффекта: 1) в процессе экспериментального исследования, имеющего конкретную цель (задачу), часто обнаруживаются факты, не связанные с этой целью, то есть делаются попутные открытия; 2) если эксперимент опровергает гипотезу, появляется знание о том, где уже не стоит искать, какие направления поисков являются бесперспективными. Отчасти по этой причине В.И. Арнольд в книге [9] говорил: «Ошибки играют в математике не меньшую роль, чем доказательства: анализируя их причины и пути их преодоления, можно быстрее идти вперед, чем тупо пытаюсь продвинуться в малоизученном направлении» [9, с.46].

Помимо всего прочего, одна из причин формулировки неверных идей – ограниченность знаний той эпохи, в которой живет исследователь. Если все эмпирические результаты, полученные в его эпоху, говорят в пользу данной идеи, то он будет ее защитником (приверженцем), хотя в дальнейшем ей суждено

покинуть сцену истории. И, наоборот, если факты его времени не подтверждают определенную теорию, он будет считать ее некорректной, хотя впоследствии, спустя много лет, она «одержит реванш». Это обстоятельство – иллюстрация того, что факты, обосновывающие наши индуктивные заключения, могут накапливаться очень медленно (порой на протяжении нескольких эпох). Желая определить степень достоверности таких заключений в момент их возникновения, как об этом мечтали Кондорсе и Лаплас, вы всегда будете ошибаться, имея, впрочем, весомый повод вспомнить слова Ф.Бэкона о том, что «истина – дочь времени». Теоретикам искусственного интеллекта нужно учитывать эти аспекты генезиса научного знания, понимать, сколь сложен путь открытия законов природы. Об этом же нужно помнить математикам, которые по-прежнему ищут способы «вычислить» человеческое сознание, чтобы опровергнуть тезис о его невычислимости.

Ниже мы приводим несколько таблиц, в которых представлены ошибочные идеи выдающихся ученых (лауреатов Нобелевской премии). Эти идеи, возникшие на базе правдоподобных рассуждений, иллюстрируют вероятностную (недетерминированную) природу алгоритмов, используемых творцами науки. Кроме того, они показывают невычислимость творческого мышления, о которой говорил Р.Пенроуз.

Таблица 2. Ошибочные идеи в области физики

№	Автор идеи	Содержание идеи
1.	Альберт Майкельсон (Нобелевская премия по физике за 1907 г.)	Идея о существовании эфира – невидимой субстанции, заполняющей мировое пространство (он верил в эту субстанцию, хотя сам и опроверг ее существование)
2.	Джон Стретт – лорд Рэлей (Нобелевская премия по физике за 1904 г.)	Идея о том, что голубой цвет неба обусловлен рассеянием солнечных лучей на мелких пылинках, содержащихся в атмосфере (впоследствии ученый понял ошибочность своей гипотезы)
3.	Вильгельм Рентген (Нобелевская премия по физике за 1901 г.)	Идея о том, что рентгеновские лучи – это продольные волны, распространяющиеся в эфире (ученый, открывший рентгеновские лучи, допустил двойную ошибку: 1) эти волны поперечны; 2) эфира не существует)

4.	Анри Беккерель (Нобелевская премия по физике за 1903 г.)	Идея о том, что рентгеновские лучи могут испускаться фосфоресцирующими телами, подвергшимися облучению солнечным светом (позже ученый сам и опроверг эту гипотезу)
5.	Мария Склодовская-Кюри (Нобелевская премия по физике за 1903 г.)	Гипотеза о том, что источником энергии радиоактивных элементов является радиация, поступающая из окружающего пространства в эти элементы (позже Мария поняла ложность этой гипотезы)
6.	Хендрик Лоренц (Нобелевская премия по физике за 1902 г.)	Отрицал идею М.Планка о том, что энергия излучения абсолютно черного тела имеет квантовый характер (также отрицал квантовую гипотезу света, сформулированную А.Эйнштейном)
7.	Макс Планк (Нобелевская премия по физике за 1918 г.)	Считал ошибочной квантовую гипотезу света А.Эйнштейна (хотя сам ввел в физику понятие кванта энергии)
8.	Макс фон Лауэ (Нобелевская премия по физике за 1914 г.)	Считал ошибочной общую теорию относительности А.Эйнштейна, полагая, что она дает неправильный расчет для смещения (прецессии) перигелия Меркурия
9.	Альберт Эйнштейн (Нобелевская премия по физике за 1921 г.)	Защищал идею о несправедливости вероятностной (копенгагенской) интерпретации квантовой механики, полагая, что «бог не играет в кости»
10.	Альберт Эйнштейн	Написал статью, в которой отрицал существование гравитационных волн (эти волны открыты американскими физиками в 2015 г., открытие удостоено Нобелевской премии)
11.	Нильс Бор (Нобелевская премия по физике за 1922 г.)	Защищал идею о том, что в атомных процессах закон сохранения энергии выполняется только статистически (впоследствии под давлением экспериментов отказался от этой идеи)
12.	Нильс Бор	Отрицал возможность существования магнитного момента нейтрона, теоретически предсказанного отечественным физиком И.Е.Таммом
13.	Вольфганг Паули (Нобелевская премия по физике за 1945 г.)	Считал ошибочной идею Р.Кронига о существовании спина электрона (если говорить классическим языком, спин – эффект осевого вращения частицы)
14.	Вольфганг Паули	Считал ошибочной идею Ц.Ли и Ч.Янга о нарушении четности в слабых взаимодействиях (между тем в 1957 г. эта идея принесла Нобелевскую премию тем, кто ее выдвинул)
15.	Вернер Гейзенберг (Нобелевская премия по физике за 1932 г.)	Гипотеза о том, что протоны и нейтроны удерживаются в составе атомного ядра электромагнитными силами (эксперименты показали, что они удерживаются в атоме ядерными силами)

Таблица 3. Ошибочные идеи в области химии

№	Автор идеи	Содержание идеи
1.	Вильгельм Оствальд (Нобелевская премия по химии за 1909 г.)	Идея о том, что атомы и молекулы – мифические объекты (ученый отказался от этой идеи лишь после экспериментов, доказавших реальное существование атомов и молекул)
2.	Уильям Рамзай (Нобелевская премия по химии за 1904 г.)	Отрицал представление о том, что броуновское движение – результат теплового движения молекул жидкости
3.	Эрнст Резерфорд (Нобелевская премия по химии за 1908 г.)	Гипотеза о том, что атомное ядро содержит электроны (позже эксперименты показали, что в атомном ядре нет электронов; ядро состоит из протонов и нейтронов)
4.	Эрнст Резерфорд	Отрицал возможность цепной ядерной реакции, на которой основано нынешнее практическое использование атомной энергии (считал ошибочной идею Лео Сциларда о возможности такой реакции)
5.	Сванте Аррениус (Нобелевская премия по химии за 1903 г.)	Отрицал химическую теорию растворов, созданную Д.И.Менделеевым и развитую его учениками (Д.П.Коноваловым, И.А.Каблуковым, В.А.Кистяковским, Л.В.Писаржевским)
6.	Сванте Аррениус	Гипотеза о том, что электролиты в неводных растворах не обладают значительной электролитической проводимостью (эта гипотеза опровергнута И.А.Каблуковым, который открыл аномальную электропроводность неводных растворов)
7.	Вальтер Герман Фридрих Нернст (Нобелевская премия по физике за 1920 г.)	Отрицал справедливость химической (гидратной) теории растворов Д.И.Менделеева (впоследствии признал ошибочность своей позиции, вычеркнув из последнего издания своей монографии «Теоретическая химия» аргументы против этой теории)
8.	Вальтер Герман Фридрих Нернст	Разработал осмотическую теорию электродного потенциала и ЭДС, включающую в себя три основных принципа. Впоследствии было установлено, что два из этих принципов неверны
9.	Альфред Вернер (Нобелевская премия по химии за 1913 г.)	Сформулировал правило внутримолекулярных перегруппировок, происходящих в оксимах - органических соединениях определенного вида (это правило было опровергнуто О.Бреди и Г.Бишопом)
10.	Адольф фон Байер (Нобелевская премия по химии за 1905 г.)	Создал теорию напряжения циклов, чтобы объяснить устойчивость циклических углеводородов, например, бензола. В рамках этой теории пришел к выводу, что все циклы имеют плоское строение (данный вывод оказался ошибочным)
11.	Эмиль Фишер (Нобелевская премия по химии за 1902 г.)	Выдвинул гипотезу о том, что молекулярная масса белковых молекул не превышает 5000 дальтон. Гипотезу опроверг Т.Сведберг, установивший, что молекулярные массы белков могут колебаться от 30 000 до 5000 000 дальтон

12.	Генрих Виланд (Нобелевская премия по химии за 1927 г.)	Выдвинул гипотезу о том, что свободный радикал, открытый М.Гомбергом, имеет структуру гексафенилэтана (методом ЭПР было установлено, что вещество М.Гомберга имеет хиноидную структуру, предложенную П.Якобсоном)
13.	Генрих Виланд	Отрицал справедливость теории макромолекул, т.е. высокомолекулярных соединений, построенной Г.Штаудингером (однако в 1953 г. Г.Штаудингер получил Нобелевскую премию за эту теорию)
14.	Фриц Габер (Нобелевская премия по химии за 1918 г.)	Считал ошибочной теорию разветвленных цепных химических реакций, созданную Н.Н.Семеновым, и пытался ее опровергнуть (однако в 1956 г. Н.Н.Семенов получил Нобелевскую премию за свою теорию)
15.	Лайнус Полинг (Нобелевская премия по химии за 1954 г.)	Отрицал существование кристаллов, обладающих поворотной симметрией пятого порядка и названных «квазикристаллами» (однако в 2011 г. Д.Шехтман, открывший квазикристаллы, получил Нобелевскую премию за это открытие)

Таблица 4. Ошибочные идеи в области биологии

№	Автор идеи	Содержание идеи
1.	Роберт Кох (Нобелевская премия по физиологии и медицине за 1905 г.)	Считал ошибочной теорию Луи Пастера, согласно которой можно лечить инфекционные заболевания с помощью вакцин, т.е. ослабленных возбудителей инфекции (Р.Кох отрицал пользу предохранительных прививок)
2.	Роберт Кох	Отрицал фагоцитарную теорию иммунитета, разработанную И.И.Мечниковым (однако в 1908 г. И.И.Мечников получил Нобелевскую премию за эту теорию)
3.	Рихард Вильштеттер (Нобелевская премия по химии за 1915 г.)	Защищал гипотезу о том, что ферменты имеют небелковую природу, т.е. отрицал, что ферменты являются белками (эту гипотезу опроверг Джеймс Самнер, получивший в 1946 г. Нобелевскую премию по химии)
4.	Иван Петрович Павлов (Нобелевская премия по физиологии и медицине за 1904 г.)	Сформулировал гипотезу о том, что открытые им условные рефлексы образуются исключительно в коре больших полушарий головного мозга (Э.А.Асратян, П.К.Анохин и другие физиологи показали, что это не так)
5.	Камилло Гольджи (Нобелевская премия по физиологии и медицине за 1906 г.)	Отрицал существование нервных клеток (нейронов), будучи противником так называемой «нейронной доктрины» Рамона-и-Кахаля (однако в 1906 г. Рамон-и-Кахаль получил Нобелевскую премию за эту доктрину)

6.	Эдгар Дуглас Эдриан (Нобелевская премия по физиологии и медицине за 1932 г.)	Выдвинул гипотезу о том, что функции мозжечка – структуры мозга – ограничиваются контролем координации движений. Эта гипотеза опровергнута экспериментами, показавшими, что мозжечок участвует в выполнении даже когнитивных функций
7.	Чарльз Шеррингтон (Нобелевская премия по физиологии и медицине за 1932 г.)	Отрицал условно-рефлекторную теорию, созданную И.П.Павловым в ходе изучения высшей нервной деятельности. Кроме того, Ч.Шеррингтон допускал отсутствие причинно-следственной связи между мозгом и психикой
8.	Отто Мейергоф (Нобелевская премия по физиологии и медицине за 1922 г.)	Выдвинул гипотезу о том, что основным фактором работы мышцы является образование молочной кислоты. Именно за эту гипотезу О.Мейергоф и получил Нобелевскую премию (по иронии судьбы, эту гипотезу опроверг его сотрудник Э.Лунсгаард)
9.	Алексис Каррель (Нобелевская премия по физиологии и медицине за 1912 г.)	Защищал идею о том, что соматические клетки способны к неограниченному размножению и, следовательно, они бессмертны (эту идею опроверг Леонард Хейфлик, открывший предел делений одиночной соматической клетки, названный «пределом Хейфлика»)
10.	Томас Хант Морган (Нобелевская премия по физиологии и медицине за 1933 г.)	Защищал идею о неделимости гена, о том, что ген является элементарной, не дробимой далее единицей наследственности (эту идею опровергли отечественные биологи Н.П.Дубинин и А.С.Серебровский, показавшие дробимость гена)
11.	Герман Меллер (Нобелевская премия по физиологии и медицине за 1946 г.)	Отрицал идею о том, что ДНК является носителем наследственной информации, полагая, что веществом наследственности являются белки, а не ДНК (неправильно интерпретировал эксперименты О.Эвери и его коллег)
12.	Лайнус Полинг (Нобелевская премия по химии за 1954 г.)	Предложил модель строения ДНК, согласно которой молекула ДНК состоит из трех полинуклеотидных цепей (эту модель опровергли Фрэнсис Крик и Джеймс Уотсон, показавшие, что молекула ДНК состоит из двух полинуклеотидных цепей)
13.	Макс Дельбрюк (Нобелевская премия по физиологии и медицине за 1969 г.)	Считал ошибочной идею Джошуа Ледерберга о том, что бактерии обладают свойством генетической рекомбинации («перетасовки генов») и способностью к половому размножению. В 1958 г. Ледерберг получил Нобелевскую премию за свое открытие
14.	Фрэнсис Крик (Нобелевская премия по физиологии за 1962 г.)	Сформулировал гипотезу о том, что избыточная (некодирующая) ДНК является бесполезной, т.е. «мусорной» ДНК. Эта гипотеза опровергнута в ходе реализации научного проекта «ENCODE»
15.	Джеймс Уотсон (Нобелевская премия по физиологии за 1962 г.)	Выдвинул гипотезу о том, что основной причиной рака (канцерогенных заболеваний) являются вирусы, превращающие нормальные клетки в злокачественные. Однако в дальнейшем понял, что ошибся – рак вызывают не только вирусы.

Ошибки выдающихся ученых, представленные в этих таблицах, свидетельствуют о том, что искусственный интеллект, который однажды научится самостоятельно ставить эксперименты и индуктивно обобщать результаты этих экспериментов, будет совершать аналогичные ошибки. Он будет формулировать гипотезы, которые будут казаться ему верными, логически вытекающими из его эмпирических наблюдений, но в силу неполноты этих наблюдений (определяющей эффект неполноты индукции), некоторые из этих гипотез не смогут надолго задержаться в науке.

Образно выражаясь, машина, вооруженная стратегиями правдоподобных рассуждений, будет защищать идею о существовании эфира, заполняющего космическое пространство, как защищал ее Альберт Майкельсон даже тогда, когда его собственные эксперименты опровергали эту идею. Напомним, что голландский физик Христиан Гюйгенс (1629-1695) сформулировал концепцию о существовании эфира как среды, обуславливающей передачу световых волн, по аналогии с существованием среды (атмосферы), опосредующей передачу звуковых колебаний.

Открыв рентгеновские лучи, машина предположит, что эти лучи - продольные волны, распространяющиеся в эфире. Как известно, В.Рентген пришел к этому ошибочному предположению по аналогии с тем, что звуковые волны – продольные колебания, а «эфиром» для них служит, как сказано выше, атмосфера.

Подобно Альберту Эйнштейну, искусственный интеллект будет отстаивать идею о несправедливости вероятностной (копенгагенской) интерпретации квантовой механики, полагая, что «бог не играет в кости». Историкам физики известно, что А.Эйнштейн пришел к своей идее, руководствуясь аналогией. Зная, что классическая механика способна точно определять (вычислять) траектории небесных тел, он по аналогии пришел к заключению, что и квантовая физика способна точно описывать траектории атомов и субатомных частиц. Однако эту аналогию «дискредитировал» немецкий физик Вернер Гейзенберг (1901-1976), который открыл знаменитый принцип неопределенности, утверждающий, что

мы не можем одновременно точно знать координаты и импульс электронов и других субатомных частиц.

Подобно Вольфгангу Паули, «разумная» машина будет отрицать идею о нарушении четности (симметрии) в слабых взаимодействиях, полагая, что не найдется таких экспериментов, которые подтвердят эту гипотезу. В.Паули пришел к выводу о невозможности нарушения четности в слабых взаимодействиях, индуктивно исходя из того, что эта четность (симметрия) сохранялась в других взаимодействиях. А в классической механике симметрия левого и правого – вообще непререкаемый закон. Однако индукция (неполная) подвела В.Паули, он ошибся. Также ошибся отечественный физик Л.Д.Ландау (Нобелевская премия по физике за 1962 г.), скептически воспринявший гипотезу своего коллеги И.С.Шапира, который предположил возможность несохранения четности в слабых взаимодействиях, но не стал публиковать статью об этом. Отчасти не стал публиковать из-за того, что Л.Д.Ландау, ознакомившись с его «еретической» идеей, сказал молодому ученому: «В принципе это не невозможно, но такой скособоченный мир был бы мне настолько противен, что думать об этом не хочется». Читатель найдет описание этой истории в книге Б.Горобца [10, с.212-213].

Подобно Лайнусу Полингу (Нобелевская премия по химии за 1954 г.), искусственный интеллект, привыкший иметь дело с классическими кристаллами, будет отрицать существование квазикристаллов – твердых тел, характеризующихся симметрией, запрещенной в классической кристаллографии. Почему Л.Полинг не верил в открытие Д.Шехтмана, обнаружившего квазикристаллы? Почему называл Д.Шехтмана (еще до того, как последний в 2011 г. получит Нобелевскую премию) «квази-ученым»? Потому что все факты – а, значит, и все индуктивные послышки – убеждали Л.Полинга в том, что существуют лишь обычные кристаллы, не демонстрирующие икосаэдрическую симметрию. Но неполная индукция «обманула» Л.Полинга – кристаллы с икосаэдрической симметрией все-таки существуют. Впрочем, индукция сама по себе здесь «не виновата»: ученым нужно корректировать свои

индуктивные идеи с учетом новых научных открытий, понимая, что эти открытия сами однажды станут исходными посылками (стартовыми точками) для новых идей – в этом сущность и главное условие прогресса науки.

4. Ювал Нееман: научные открытия, совершаемые благодаря «везению»

Известно, что многогранность научных интересов позволяет ученому делать открытия в разных областях. Например, Г.Гельмгольц, измеривший скорость распространения нервного возбуждения (важное открытие в нейрофизиологии), сформулировал также закон сохранения энергии – фундаментальный принцип раздела физики, называемого термодинамикой. Фрэнсис Крик, разгадавший структуру молекулы ДНК, последние 25 лет своей жизни посвятил изучению мозга и сознания. Он инициировал в науке о мозге серию новых исследований, позволивших узнать много интересного о механизмах его деятельности.

Израильский ученый Ювал Нееман (Юваль Неэман, 1925-2006) также может быть отнесен к разряду исследователей, чьи научные интересы простирались дальше той области, в которой он работал изначально. Будучи физиком, он сделал открытие Нобелевского уровня и, по мнению многих специалистов, заслуживал присуждения Нобелевской премии. Ю.Нееман разработал классификацию элементарных частиц, получившую название «восьмеричный путь», то есть сделал то же самое, что и американский физик Мюррей Гелл-Манн (1929-2019), получивший за это открытие в 1969 г. Нобелевскую премию по физике. Термин «восьмеричный путь» связан с тем, что в этой классификации частицы, участвующие в сильных взаимодействиях (адроны), разбиваются на супермультиплеты – группы по восемь частиц в каждой. Кроме того, Ю.Нееман теоретически предсказал существование новой элементарной частицы – омега-минус-гиперона, которая была экспериментально

обнаружена на ускорителе элементарных частиц в Брукхейвенской национальной лаборатории в 1964 г.

Не замыкаясь в рамках одной научной дисциплины, Ю.Нееман также интересовался вопросами эволюции научного знания и обстоятельствами, при которых делаются научные открытия, в том числе приводящие к смене парадигм. Ознакомившись с работами К.Поппера и Д.Кэмпбелла, предложивших концепцию, согласно которой существует глубокая аналогия между механизмами развития науки и механизмами биологической эволюции, описанной Ч.Дарвином, Ю.Нееман пришел к выводу, что эта концепция подтверждается многочисленными фактами истории науки.

В частности, К.Поппер и Д.Кэмпбелл обратили внимание на то, что естественный отбор, действующий в живой природе и повышающий уровень адаптации организмов, аналогичен процессу селекции, который действует в науке и сохраняет идеи и теории, соответствующие результатам экспериментов, элиминируя (устраняя) идеи, не соответствующие этим результатам. К.Поппер также заметил, что метод проб и ошибок, посредством которого биологическая эволюция создает новые формы жизни, эквивалентен схемам проведения скрининга (поиска), которые используются в науке при работе в совершенной неизвестной, неисследованной области.

Анализируя тот факт, что в ходе биологической эволюции периодически возникают наследственные изменения (генетические мутации), поставляющие материал для естественного отбора, К.Поппер и Д.Кэмпбелл сфокусировались на том, что эти наследственные изменения являются случайными (непредсказуемыми). О случайности этих изменений, подхватываемых отбором, говорил еще Ч.Дарвин, понимавший, что отрицать эту случайность – значит, возвращаться к концепции эволюции Ламарка, которая не выдержала проверку временем. К.Поппер и Д.Кэмпбелл пришли к выводу, что в развитии научного знания должен существовать эквивалент этих случайных наследственных изменений, способствующих усложнению организации живых существ. В конце концов, после анализа проблемы они поняли, что таким эквивалентом являются

случайные научные открытия, то есть феномен «серендипити» (как сказали бы мы сегодня).

Ю.Нееман нашел возможность для того, чтобы углубить и конкретизировать понятие случайного открытия. Он пришел к заключению, что эти открытия, совершаемые благодаря «везению», являются примерами «стохастической компоненты», «случайного мутационного механизма», работающего в науке и дополняющего алгоритмические аспекты развития научного знания. Чем более революционный характер носит открытие, отметил Ю.Нееман, тем более неожиданными (непредвиденными) являются результаты. Автор перечисляет множество открытий, которые нельзя было предсказать, поскольку они были сделаны случайно (или почти случайно). В число подобных открытий вошли следующие научные достижения:

- открытие низкотемпературной проводимости (Х.Камерлинг-Оннес, Нобелевская премия по физике за 1913 г.);

- открытие деления атомного ядра (Отто Ган, Нобелевская премия по химии за 1944 г.);

- открытие высокотемпературной сверхпроводимости (Г.Беднорц, А.Мюллер, Нобелевская премия по физике за 1987 г.);

- применение солей лития для лечения биполярного аффективного расстройства, т.е. маниакально-депрессивного психоза (Джон Кейд, открытие сделано в 1949 г.).

03 октября 1992 г. Ю.Нееман выступил с докладом на симпозиуме Эмиля Ширкенштейна «Решение проблем в медицинских исследованиях», который состоялся на медицинском факультете Университета Эразма в Роттердаме (Голландия). В этом докладе Ю.Нееман и изложил свои идеи относительно роли случая в эволюции науки. Впоследствии текст доклада был опубликован в статье [11]. В ней он, в частности, подчеркивает: «Наш тезис состоит в том, что ключевую роль в мутационном механизме играет везение. Мы показали, что именно этот феномен стоит за главными достижениями в науке, будь то в теории

или в открытии новых явлений или новых проблем, которыми впоследствии начинает заниматься наука» [11, с.74-75].

Израильский физик объяснил происхождение непреднамеренных (незапланированных) открытий следующим образом. Ученый всегда работает в рамках какой-то вполне определенной научной программы, задачи и цели которой заранее известны. Ю.Нееман называет работу в рамках указанной программы «поиском А». Однако в процессе поиска, мотивированного конкретной целью, нередко удается обнаружить нечто, не предусмотренное ни программой исследований, ни целями, которые изначально ставились. Это и есть случайное (неожиданное) открытие, которое Ю.Нееман называет «открытием В». Автор поясняет свою мысль: «Существует постоянно действующая программа, поиск «А». Этот поиск должен постоянно вестись, чтобы иметь какие-то результаты. <...> Если ученый не будет всё 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 вкратиться ошибка» [11, с.75].

Природу случайных открытий можно объяснить и другим способом. Сформулируем вопрос: откуда логика или, лучше сказать, индукция и аналогия берут посылки для своих умозаключений (гипотез)? Каков источник происхождения той исходной информации, которая служит материалом для реализации схем индуктивных рассуждений? Разумеется, эта информация берется из результатов наблюдения (экспериментов), но как ведется экспериментальный поиск этой информации на переднем крае науки, где человек видит множество «неизведанных территорий»? Этот поиск ведется методом проб и ошибок, здесь исследователь часто сталкивается с непреднамеренными (незапланированными) находками, которые, собственно говоря, и составляют суть случайных, т.е. «серендипных» открытий. Работая на этих «неизведанных территориях», вы не можете знать заранее, что вам предстоит открыть, поэтому

эти находки нельзя планировать (хотя после того, как вы совершили случайное открытие, вы уже можете делать определенные выводы и кое-что планировать).

Ю.Нееман считает, что 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» [11, с.86-87].

Ниже приводится таблица, в которой представлены некоторые открытия, сделанные благодаря счастливому случаю (феномену «serendipity»).

Таблица 5. Научные открытия, в генезисе которых сыграл роль фактор случая

№	Автор открытия	Содержание открытия и источники, указывающие на роль случая в его генезисе
1.	Вильгельм Рентген (Нобелевская премия по физике за 1901 г.)	Открытие рентгеновских волн [12, 13]
2.	Анри Беккерель (Нобелевская премия по физике за 1903 г.)	Открытие явления радиоактивности [14, 15]
3.	Роберт Милликен (Нобелевская премия по физике за 1923 г.)	Определение величины заряда электрона [16, 17]
4.	Карл Андерсон (Нобелевская премия по физике за 1936 г.)	Открытие элементарной частицы – позитрона [18, 19]

5.	Клинтон Дэвиссон (Нобелевская премия по физике за 1937 г.)	Открытие дифракции электронов [20, 21]
6.	Ирвинг Ленгмюр (Нобелевская премия по химии за 1932 г.)	Открытие электронной эмиссии на поверхности вольфрамовой нити [22]
7.	Павел Алексеевич Черенков (Нобелевская премия по физике за 1958 г.)	Открытие изучения Черенкова-Вавилова [23, 24]
8.	Энрико Ферми (Нобелевская премия по физике за 1938 г.)	Открытие эффекта замедления нейтронов, получение тепловых нейтронов [25, 26]
9.	Джон Бардин, Уолтер Браттейн (Нобелевская премия по физике за 1956 г.)	Открытие транзисторного эффекта [27, 28]
10.	Луис Альварес (Нобелевская премия по физике за 1968 г.)	Открытие мюонного катализа [29]
11.	Энтони Хьюиш (Нобелевская премия по физике за 1974 г.)	Открытие радиопульсаров, т.е. нейтронных звезд [30, 31]
12.	Арно Пензиас, Роберт Уилсон (Нобелевская премия по физике за 1978 г.)	Открытие космического микроволнового реликтового излучения [32, 33]

В данной таблице указаны открытия, относящиеся к области физики и астрофизики, но можно было бы включить в нее аналогичные «серендипные» открытия из области химии или биологии, где их тоже немало. Например, символом невероятного везения давно уже стало биологическое открытие британского ученого Александра Флеминга (1881-1955), который благодаря случайному наблюдению выявил антибактериальные свойства плесени, что позволило изобрести пенициллин. Эта находка принесла ему в 1945 г. Нобелевскую премию по физиологии и медицине.

Другим подобным открытием является обнаружение явления фотореактивации – одного из важных механизмов репарации генетических

повреждений (свойства живых организмов устранять повреждения, возникшие в ДНК в результате воздействия разнообразных мутагенных факторов как радиационной, так и химической природы). Явление фотореактивации открыли Альберт Кельнер и Ренато Дульбекко (последний получил в 1975 г. Нобелевскую премию).

О том, что данное открытие было сделано случайно, знал Джеймс Уотсон, разделяющий с Ф.Криком честь расшифровки строения молекулы ДНК. В своих работах Дж.Уотсон сообщает, что именно обнаружение феномена фотореактивации заставило Р.Дульбекко сформулировать эвристический принцип ограниченной небрежности, согласно которому исследователь, отличающийся в своих экспериментах излишней аккуратностью, не допускающий определенной (умеренной) небрежности, имеет мало шансов сделать случайное открытие. Читатель найдет подробное описание истории «серендипного» открытия А.Кельнера и Р.Дульбекко в статье Д.О.Жаркова [34].

Таким образом, теоретикам искусственного интеллекта есть о чем призадуматься. Если в науке встречаются случайные открытия, которые, как показал Ю.Нееман (а до него многие историки науки), могут носить революционный характер, менять укоренившиеся парадигмы, то встает вопрос: могут ли подобные открытия быть доступными искусственному интеллекту? Сможет ли когда-нибудь вычислительная машина делать «серендипные» научные находки? Сегодня можно точно сказать, что если искусственный интеллект будет функционировать на основе замкнутых детерминированных алгоритмов, не опирающихся на результаты эксперимента, то он никогда не научится делать подобных находок. Чтобы ему стали доступны прорывы, аналогичные достижениям В.Рентгена (открытие рентгеновских лучей) и А.Беккереля (обнаружение явления радиоактивности), он, искусственный интеллект, должен освоить навыки постановки экспериментов, т.е. осуществления полноценной экспериментальной деятельности. Лишь в этом случае в его деятельности будут происходить ситуации, описанные Ю.Нееманом: работа в рамках исследовательской программы «А» и

установление фактов «В» в качестве побочных и неожиданных продуктов реализации программы «А».

5. Заключение

Теперь мы можем обобщить имеющиеся у нас результаты, представив адекватный и корректный ответ на вопрос американского математика С.Смейла: каковы пределы интеллекта – как искусственного, так и человека? Этими пределами являются все рассмотренные нами факторы, ограничивающие (запрещающие) эффективное функционирование замкнутых формальных систем, основанных на детерминированных алгоритмах. Перечислим их: теорема Геделя о неполноте, теорема Тьюринга о неразрешимости проблемы остановки, правдоподобные рассуждения, описанные Д.Пойа (прежде всего, индукция и аналогия), и фактор случая в научном открытии.

Р.Пенроуз в книге «Новый ум короля» [6], установив эквивалентность формальных систем и строгих (детерминированных) алгоритмов, продемонстрировал, что теорема Геделя о неполноте и теорема Тьюринга о неразрешимости проблемы остановки машины Тьюринга налагают ограничения на эффективную работу замкнутых детерминированных алгоритмов. Р.Пенроуз показал, что замкнутые детерминированные алгоритмы (формальные системы), во-первых, не воспроизводят творческое мышление человека, а, во-вторых, не могут быть основой систем искусственного интеллекта, пытающихся воспроизвести это творческое мышление.

Д.Пойа исследовал правдоподобные рассуждения (вероятностные алгоритмы творческого мышления) задолго до того, как С.Смейл составил в 1997 г. по просьбе В.И.Арнольда свой список математических проблем, включая обсуждаемую нами восемнадцатую проблему. Если бы Д.Пойа сделал это после 1997 г., то, несомненно, он нашел бы решение этой проблемы и известил об этом своих коллег-математиков.

Аналогично, если бы Ю.Нееман, скончавшийся в 2006 г., знал о восемнадцатой проблеме С.Смейла (иногда знать о проблеме не менее важно, чем владеть методом ее решения), он мог бы связать ее со своими исследованиями, показавшими роль фактора случая в научном открытии. Таким образом, любой из названных ученых мог приблизиться к решению проблемы, сформулированной С.Смейлом.

Подчеркнем, что описанные нами «запрещающие» факторы являются пределами не процесса научного познания (как можно было бы ошибочно заключить), а алгоритмизации творческого мышления. Важно понимать, что: 1) процесс научного познания и 2) алгоритмизация творческого мышления – это совершенно разные вещи. Теорема Геделя о неполноте и теорема Тьюринга о неразрешимости проблемы остановки машины Тьюринга, а также вероятностная природа индуктивного вывода и феномен «серендипити» показывают, что существуют ограничения для первого пункта, но никак не для второго.

Литература:

1. Чейтин Г. Случайность в арифметике // В мире науки. – 1988. - № 8. – С.42-48.
2. Чейтин Г. Пределы доказуемости // В мире науки. – 2006. - № 6. – С.38-45.
3. Соломонов Р. Машина для выводов по индукции // Математика. – 1958. - Том 2. - № 1. – С.139-150.
4. Кинг Р. Появление роботов-ученых // В мире науки. – 2011. - № 4. – С.41-47.
5. Bilsland E., Vliet L., Williams K. [...] King R.D., Oliver S.G. Plasmodium dihydrofolate reductase is second enzyme target for the antimalarial action of triclosan // Scientific Reports, 2018, vol.8, № 1038.
6. Пенроуз Р. Новый ум короля. О компьютерах, мышлении и законах физики. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 384 с.
7. Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения. – М.: «Наука», 1975. – 464 с.
8. Матиясевич Ю.В. Алан Тьюринг и теория чисел // Математика в высшем образовании. - 2012. - № 10. – С.111-134.

9. Арнольд В.И. Что такое математика? – М.: МЦНМО, 2002. – 104 с.
10. Горобец Б. Круг Ландау. – СПб.: «Летний сад», 2006. – 656 с.
11. Неeman Ю. Счастливый случай, наука и общество. Эволюционный подход // Путь. – 1993. - № 4. – С.70-90.
12. Чолаков В. Нобелевские премии: ученые и открытия. – М.: «Мир», 1987. – 368 с.
13. Майданов А.С. Искусство открытия. Методология и логика научного творчества. – М.: «Репро», 1993. – 175 с.
14. Абрамов А.И. История ядерной физики. – М.: «КомКнига», 2006. – 232 с.
15. Липсон Г. Великие эксперименты в физике. – М.: «Мир», 1972. – 215 с.
16. Филонович С.Р. Судьба классического закона. Прошлое и настоящее закона Кулона. – М.: «Наука», 1990. – 238 с.
17. Холтон Дж. Тематический анализ науки. – М.: «Прогресс», 1981. – 383 с.
18. Ахиезер А.И., Рекало М.П. Биография элементарных частиц. – Киев: «Наукова думка», 1979. – 264 с.
19. Вайнберг С. Мечты об окончательной теории. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 256 с.
20. Де Бройль Л. По тропам науки. – М.: изд-во иностранной литературы, 1962. – 408 с.
21. Азимов А. Путеводитель по науке. От египетских пирамид до космических станций. – М.: «Центрполиграф», 2006. – 788 с.
22. Уилсон М. Американские ученые и изобретатели. – М.: «Знание», 1975. – 143 с.
23. Фейнберг Е.Л. Эпоха и личность. Физики. Очерки и воспоминания. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 416 с.
24. Ломов В.М. 100 великих научных достижений России. – М.: «Вече», 2011. – 431 с.
25. Маслов В.Н. Алгоритм открытий. – М.: «ИРИС-ГРУПП», 2011. – 300 с.
26. Понтекорво Б. Избранные труды. Том 2. – М.: «Наука», 1997. – 333 с.
27. Носов Ю. Парадоксы транзистора // Квант. – 2006. - № 1. – С.4-8.

28. Малашевич Б.М. 50 лет отечественной микроэлектронике. – М.: «Техносфера», 2013. – 799 с.
29. Рафельский Я., Джоунс С. Холодный ядерный синтез // В мире науки. – 1987. - № 9. – С.52-58.
30. Новиков И.Д. Черные дыры и Вселенная. – М.: «Молодая гвардия», 1985. – 190 с.
31. Хьюиш Э. Пульсары // Успехи физических наук. – 1969. – Том 97. - № 4. – С.715-732.
32. Вайнберг С. Первые три минуты. Современный взгляд на происхождение Вселенной. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 272 с.
33. Рэндалл Л. Достучаться до небес. Научный взгляд на устройство Вселенной. – М.: «Альпина нон-фикшн», 2014. – 518 с.
34. Жарков Д.О. Часовые генома // Наука из первых рук. – 2009. - № 4 (28). – С.161-169.