

газета, выпускаемая учеными и научными журналистами

## СОЛНЦЕ, ЛЕД, ВУЛКАНЫ И КЛИМАТ:

## КАК МЕНЯЛСЯ КЛИМАТ ЗЕМЛИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДВА ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ?

Алексей Екайкин, докт. геогр. наук

2024 год оказался самым теплым за всю историю наблюдений и первым календарным годом, температура которого на 1,5 °C превысила доиндустриальный уровень (в качестве оценки которого берут среднюю глобальную температуру приземного воздуха за период 1850–1900 годы). Мало того, с очень большой степенью вероятности 2024 год – самый теплый на планете с тех пор, как около 116 тыс. лет назад закончилась предыдущая межледниковая эпоха (Masson-Delmotte et al., 2011).

Так, стоп! А откуда мы знаем о том, что было в далеком прошлом, если метеорологические наблюдения начались лишь около 170 лет назад?

В изучении климата древних эпох нам помогает палеогеография – наука, которая изучает, какой была Земля в прошлом. И эта наука говорит нам, что средняя температура планеты могла меняться в очень широких пределах, и случались эпохи, когда Земля была настолько теплой, что на ней вовсе не было льда! (Zachos et al., 2001). Очевидно, что те прошлые потепления происходили без участия человека (поскольку наш вид просто-напросто еще не появился на Земле) – означает ли это, что и нынешнее потепление происходит без участия человека? Нет, такой вывод был бы некорректным по той причине, что «граничные условия», на фоне которых действует климатическая система (тектоника, соотношение площадей суши и моря, конфигурация материков и их широтное расположение, орбитальные параметры Земли и даже светимость Солнца и т. д.) тогда были иными, нежели чем теперь. Попросту говоря, это была немного другая планета, в которой климатические факторы действовали иначе – поэтому и сравнивать нынешнее потепление с древними теплыми эпохами сложно. Для корректного выявления соотношения природных и антропогенных факторов современного глобального потепления нам нужна такая же Земля, как сейчас, но

без сильного влияния человека. Оптимальным периодом для сравнения является поздний голоцен (его еще называют Мегхалайский ярус), охватывающий последние 4200 лет. Граничные условия (за исключением орбитальных параметров) оставались неизменными на протяжении всего этого периода. Небольшое изменение орбитальных параметров (угла наклона оси вращения и дат прохождения перигея и апогея) за это время произошло, но влияние этих факторов было невелико (Cartapanis et al., 2022). Наиболее влиятельными климатическими факторами были изменения концентрации парниковых газов, солнечной и вулканической активности, но и эти параметры менялись в относительно небольших пределах. Соответственно, атмосферная циркуляция, хотя и претерпевала небольшие колебания, была приблизительно такой же, как в современную эпоху. Еще лучше взять вторую половину позднего голоцена, последние 2000 лет, поскольку, во-первых, влияние орбитальных параметров в этот период времени еще меньше; а во-вторых, для последних двух тысячелетий имеется самый большой набор палеогеографических данных (включая исторические архивы) – фактически, это наиболее полно задокументированная эпоха Земли до начала инструментальных наблюдений. Обзору результатов изучения климатических изменений планеты за последние 2000 лет и посвящена эта статья.

### Изменение температуры воздуха за последние 2000 лет

Изменение температуры воздуха не проходит бесследно, оно влияет практически на все компоненты земной системы – циркуляцию атмосферы, количество осадков и их изотопный состав, на площадь ледников, на распространенность ▶

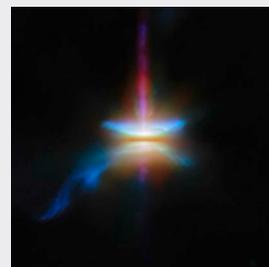


Алексей Екайкин

### В номере

Где и как искать новые земли, пригодные для жизни

Разбирается **Борис Штерн** – стр. 9–11



Астероид Бенну – конструктор для демиурга, мишень размером с галактику...

...и другие астроновости в обзоре **Алексея Кудря** – стр. 11–13

Хаббл, Фридман и Леметр: расширители Вселенной

Очерк **Алексея Левина** об эпохальных открытиях в астрофизике 1920-х – 1930-х годов – стр. 14–19

Новая документалка об Эйнштейне

Дотошный анализ **Евгения Берковича** – стр. 20–21

Идеальный учебник физики

Размышления и предложения **Леонида Ашкинази** – стр. 22–23



Тираны на киноэкране

Трагикомические миниатюры япониста **Александра Мещерякова** – стр. 24, 26

Моцарт как новый Платон и Овидий

Культурологи **Александр Марков** и **Оксана Штайн** о том, как гармония Моцарта определила философские темы XX века, – стр. 25–26

Незримый свидетель

Урсула Ле Гуин и судья Ито дискутируют о науке и фантастике в рассказе **Павла Амнуэля** – стр. 27–29

Подписывайтесь на наши аккаунты:

t.me/trvscience, vk.com/trvscience, twitter.com/trvscience

различных видов растений и животных на суше и в воде и т.д. Соответственно, различные свойства и характеристики окружающей среды могут служить своеобразными «палеотермометрами», пригодными для измерения температуры в прошлом (Paleoclimatology, 2021). Одним из наиболее надежных природных термометров является изотопный состав атмосферных осадков – концентрация тяжелых стабильных изотопов кислорода и водорода<sup>1</sup>. Хотя в основе этого метода лежат весьма сложные физические закономерности, в результате получается довольно простая и почти линейная зависимость: чем выше температура конденсации – тем больше тяжелых изотопов в осадках (Dansgaard, 1964). В холодных регионах (высоко в горах либо на полюсах) осадки выпадают в твердом виде и не тают – а значит, есть возможность извлечь их оттуда, измерить изотопный состав и узнать температуру в далеком прошлом. Дождевая вода также может участвовать в образовании карбонатов, из которых сложены сталактиты и сталагмиты пещер. Далее, температура воздуха влияет на скорость протекания физических и химических реакций, а также биологических процессов – соответственно, изотопный состав морских кораллов и раковин моллюсков, ширина годовых колец (а также плотность и изотопный состав целлюлозы) деревьев также содержат в себе температурный сигнал. Наконец, минеральный состав озерных и морских донных осадков, содержание в них остатков холодно- и теплолюбивых микроорганизмов, спор и пыльцы растений также пригодны для оценки температуры в прошлом. Важно отметить, что между палеогеографическими данными должна быть согласованность – например, если кольца деревьев говорят о том, что в такую-то эпоху температура была выше средней, а донные осадки рядом расположенного озера утверждают, что, наоборот, в эту эпоху имело место похолодание – значит, в одно из этих исследований закралась ошибка. К счастью, в большинстве случаев разные методы дают хорошо согласующиеся результаты.

Другой нюанс, на который стоит обратить внимание, – «сезонный сдвиг» температуры, которому подвержены многие объекты палеогеографии. Например, ширина колец деревьев отражает не среднюю годовую температуру, а скорее температуру теплого сезона. Если же с точки зрения температуры дерево находится в комфортных условиях, то на ширину колец могут влиять другие факторы – в первую очередь доступность влаги. Поэтому для дендрохронологических исследований лучше всего подходит северная граница леса, где влаги достаточно, а лимитирующим фактором является именно температура. Изотопный состав годовых слоев в леднике тоже может иметь сдвиг в сторону того сезона, когда выпадает больше всего осадков (таким сезоном может быть как лето, так и зима, или даже один из переходных сезонов).

Наконец, еще одним фактором, который следует учитывать при интерпретации палео-

<sup>1</sup> Обычно изотопный состав выражают в единицах  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$  – в относительных концентрациях кислорода-18 и дейтерия по сравнению со стандартом, в качестве которого используется средняя морская вода.

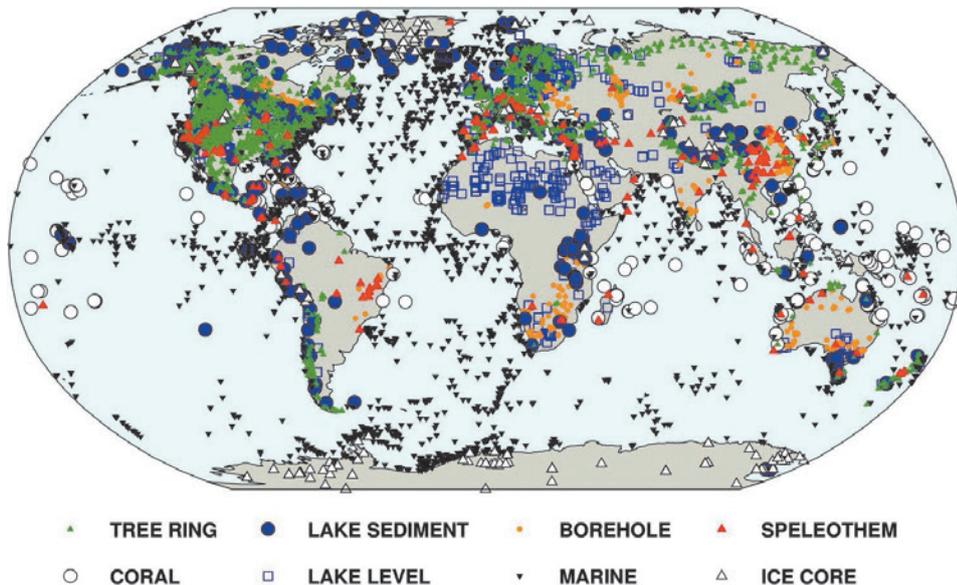


Рис. 1. Пространственное распределение пунктов, в которых выполнялись палеоклиматические исследования. Разными знаками показаны различные объекты исследования: кольца деревьев, кораллы, озерные и морские осадки, уровень озер, отложения пещер, континентальные скважины и ледяные керны. Из статьи Degroot et al., 2022

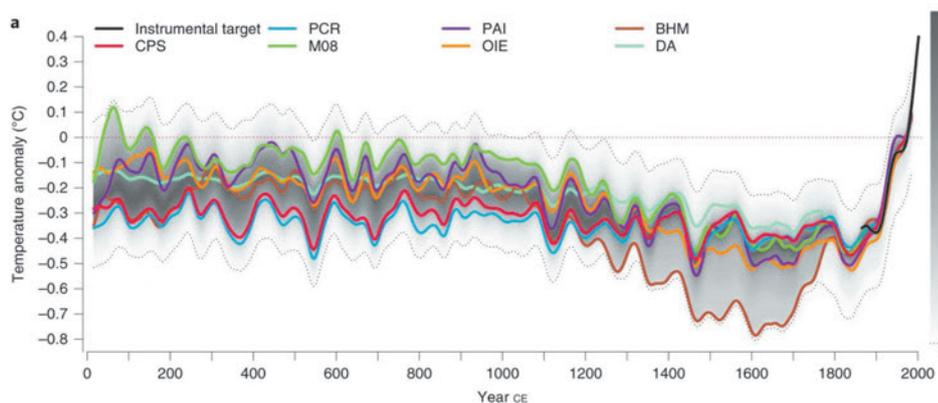


Рис. 2. Глобальная температурная аномалия за последние 2000 лет по сравнению с периодом 1961–1990 годы. Цветные линии представляют собой 30-летние средние по результатам отдельных реконструкций. Серой заливкой показаны пределы погрешностей, а пунктирными линиями – доверительный интервал 2,5–97,5%. Черная линия – инструментальные данные за период 1850–2017 годы. Из статьи PAGES2k, 2019

климатических данных, – неравномерность покрытия территории точками исследований. По очевидным причинам лучше всего исследованы территории Европы и Северной Америки (рис. 1) – именно там палеогеографические изыскания начались раньше всего, и именно там находится большинство научно-исследовательских центров. Также очевидно, что и сами объекты исследований распределены неравномерно. Например, дендрохронологией можно заниматься лишь там, где растут деревья и где при этом есть заметные различия температуры между зимой и летом – т.е. преимущественно в умеренном поясе Северного (и в меньшей степени Южного) полушария. А в Центральной Антарктиде, где нет ни лесов, ни озер, единственный доступный метод исследования – изучение ледяных кернов.

Чтобы увязать между собой эту разнородную и неравномерно распределенную точечную информацию об изменениях температуры в прошлом, используют модели общей циркуляции атмосферы (PAGES2k, 2019).

Тем не менее для последних двух тысяч лет накоплено огромное количество данных

о температуре воздуха во многих точках нашей планеты (рис. 1), которые позволяют надежно охарактеризовать прошлые изменения температуры как в отдельных регионах, так и в среднем для Северного и Южного полушарий и для всей планеты.

Итоговая сводная глобальная температурная кривая представлена на рис. 2. Какие выводы она позволяет сделать?

Во-первых, до начала индустриальной эпохи температура действительно менялась очень слабо (в пределах от +0,1 °C до –0,7 °C) по сравнению с 1961–1990 годами – это подтверждает относительно небольшую изменчивость климатических факторов (о них мы поговорим ниже).

Во-вторых, на протяжении этих двух тысячелетий (и вплоть до середины XIX века) наблюдался небольшой нисходящий тренд (похолодание), на фоне которого имели место периоды потепления (в I–II и IX–X веках) и похолодания (в IV–VII и XII–XIX веках). Самой заметной температурной аномалией была так называемая «Малая ледниковая эпоха», которая началась где-то в XIII веке и сменилась резким потеплением во второй половине XIX века. ▶

► В-третьих, реконструированная методами палеогеографии температурная кривая имеет общий интервал с инструментальным рядом температуры, и в этой зоне пересечения оба ряда хорошо согласуются друг с другом — что, конечно, придает надежности всей 2000-летней кривой.

В целом, эта палеотемпературная кривая хорошо воспроизводит знаменитую «клюшку Манна» (Mann et al., 1998), вокруг которой в свое время было сломано столько копий. Напомню, что в 2009 году разразился скандал, получивший название «климатгейт», — неизвестные злоумышленники взломали сервера британского Университета Восточной Англии и выложили в открытый доступ переписку Майкла Манна и его коллег, в которой якобы были свидетельства подтасовки данных в пользу глобального потепления. Для проверки фактов были созданы аж целых восемь комиссий

(государственных, частных и научных), которые досконально прошерстили все материалы и не обнаружили ни доказательств мошенничества, ни доказательств нарушения научной этики (почитать об этом можно в заметке Александра Чернокульского<sup>2</sup>). Манну принесли извинения, а в 2012 году Европейский геофизический союз вручил ему медаль Ханса Эшгера за «значительный вклад в понимание изменений климата в масштабе десятилетий и столетий за последние 2000 лет, а также за разработку новаторских методов синтеза моделей и временных рядов изменения климата в Северном полушарии в прошлом с использованием палеореконструкций»<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> [nplus1.ru/material/2020/01/24/not-hockey-stick-for-climate-change](http://nplus1.ru/material/2020/01/24/not-hockey-stick-for-climate-change)

<sup>3</sup> [www.egu.eu/awards-medals/hans-oeschger/2012/michael-mann/](http://www.egu.eu/awards-medals/hans-oeschger/2012/michael-mann/)

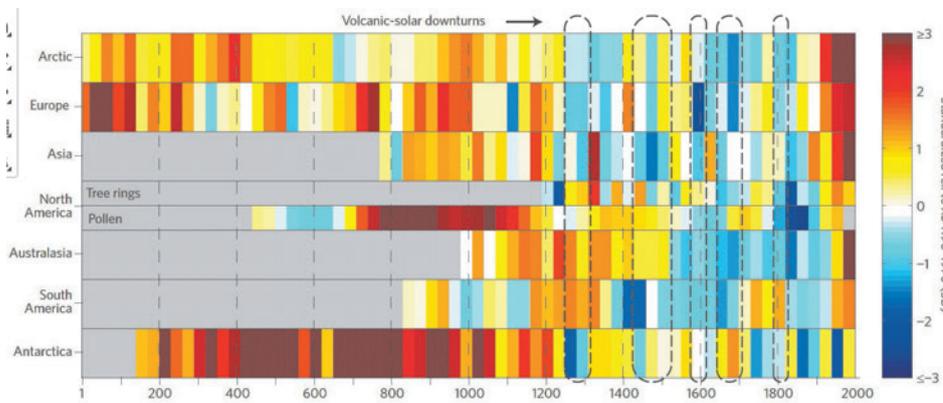


Рис. 3. 30-летние температурные аномалии в семи регионах, нормированные относительно их общего периода (1190–1970 годы). Для Северной Америки отдельно показаны реконструкции по годичным кольцам деревьев и по пыльце. Пунктиром обведены интервалы времени с ярко выраженным вулканическим и солнечным форсингом. Из статьи PAGES2k, 2013

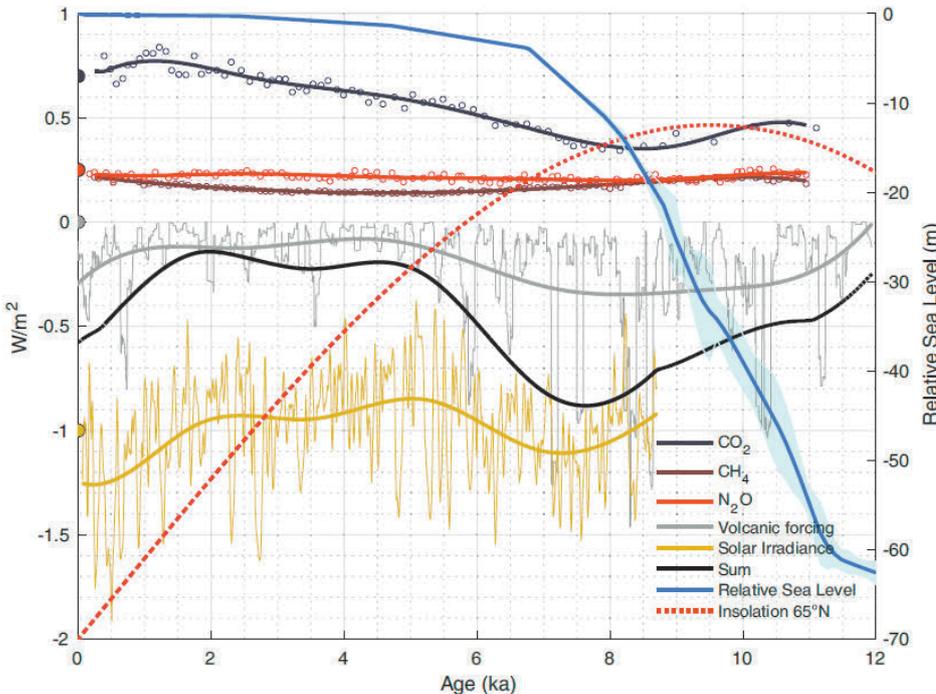


Рис. 4. Средненная по ста годам изменчивость климатических факторов (форсингов) голоцена (в Вт/м²): парниковые газы (углекислый газ, метан и закись азота), вулканическая и солнечная активность, орбитальный форсинг (изменение солнечной инсоляции на 65° с. ш.). Черной линией показана сумма всех форсингов, а голубой кривой — изменение уровня моря. Для лучшего восприятия рисунка кривые CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O и солнечной инсоляции были сдвинуты на +0,7, +0,25, +0,25 и -1 Вт/м². Из статьи Cartapanis et al., 2022

Конечно, самым убедительным доказательством правоты Манна служат не результаты расследований, а тот факт, что его «клюшка» воспроизводится независимо от того, кто берется за построение сводной температурной кривой и какие климатические модели при этом использует. Тут, пожалуй, следует отметить, что авторами температурного ряда на рис. 2 являются 19 ученых (Майкла Манна среди них нет), представляющие 18 организаций из 8 стран.

Наконец, еще одна особенность кривой, показанной на рис. 2, — относительно широкие интервалы погрешностей, которые затрудняют выделение каких-либо значимых климатических колебаний с периодом меньше нескольких сотен лет. Причина этих погрешностей кроется, конечно, в погрешностях исходных палеоклиматических рядов — любой временной природный ряд любых параметров, полученный каким угодно методом, содержит большое количество шума, избавиться от которого полностью невозможно — можно лишь снизить количество этого шума, осреднив как можно больше рядов, полученных в разных точках. А второй источник погрешности глобальной температурной кривой заключается в том, что в разных регионах Земли климат мог меняться немного по-разному. Для иллюстрации этого на рис. 3 приведем диаграмму из работы (PAGES2k, 2013), на которой цветом показаны 30-летние аномалии температуры в семи разных регионах. Как видим, лишь Малую ледниковую эпоху можно считать действительно глобальным феноменом. В остальные же эпохи знак температурной аномалии мог различаться для разных регионов. Например, потепление X века наблюдалось в Северном полушарии и в Антарктике, но в Южной Америке в это время была отрицательная аномалия. А холодная эпоха VI века проявилась в Северной Америке и Европе, тогда как в Антарктиде в это время было теплее обычного.

Зато современное потепление носит гордое звание «глобального» с полным правом — примерно с середины XX века оно проявляется во всех регионах планеты (кроме, пожалуй, Антарктиды — к этому факту мы еще вернемся в дальнейшем).

## Факторы, влиявшие на климат Земли на протяжении нашей эры

Как уже было сказано выше, для последних двух тысячелетий основными климатическими факторами являются вулканическая и солнечная активность. Влияние орбитальных параметров Земли — на третьем месте, а влиянием изменчивости концентрации парниковых газов (до начала их массовой эмиссии в конце XIX века) практически можно пренебречь — рис. 4.

Чтобы лучше понять картину, представленную на рис. 4, необходимо разобраться с единицами измерения. Влияние климатических факторов выражается в единицах потока тепла — ваттах на квадратный метр (Вт/м²). Например, «солнечная постоянная» (которая вовсе не постоянна, но об этом мы поговорим позже) — т. е. количество тепла, которое приходит через перпендикулярную солнечным лучам площадку пло-

► шадью 1 м<sup>2</sup> на внешней границе атмосферы Земли, – равно 1361 Вт (примерно столько же тепла выделяет средней мощности электрический чайник). Однако же за счет шарообразности Земли к верхней границе атмосферы доходит лишь ¼ этого количества, 340 Вт/м<sup>2</sup>. Примерно 1/3 от этого количества отражается обратно в космос<sup>4</sup>, и лишь 240 Вт/м<sup>2</sup> поглощается земной поверхностью и атмосферой. Если бы мы обогревались только этим теплом, Земля была бы гораздо холоднее (по закону излучения Стефана – Больцмана средняя температура составляла бы около –18 °С); к счастью, в нашей атмосфере есть парниковые газы, которые перехватывают и посылают обратно к земной поверхности часть длинноволнового излучения Земли, и этой добавки за счет парникового эффекта хватает, чтобы нагреть Землю до комфортных +14 °С (что эквивалентно эффективному излучению поверхности около 385 Вт/м<sup>2</sup>).

Влияние других климатических факторов также приводит к изменению радиационного баланса планеты, что и дает возможность количественно сопоставлять их между собой. Для понимания соотношения между «радиационным форсингом» и изменением температуры вводят понятие «климатической чувствительности». Оценить ее не так-то просто. Теоретически при изменении входящей радиации на 1 Вт/м<sup>2</sup> температура менялась бы примерно на 0,2 °С (это справедливо лишь для современной температуры Земли, поскольку зависимость не линейная). Но в реальности надо учитывать огромное количество обратных связей в климатической системе, а также ее инертность, поэтому эффективное значение климатической чувствительности составляет порядка 0,8 °С на 1 Вт/м<sup>2</sup> (Gregory et al., 2004).

Теперь, опираясь на эти сведения, мы можем вернуться к рис. 4 и понять, почему температура в позднем голоцене менялась незначительно. Действительно, общее изменение радиационного форсинга за последние 2000 лет не превышало 0,5 Вт/м<sup>2</sup>, и оно приблизительно поровну складывалось из вулканического и солнечного форсинга, а вклад парниковых газов был невелик. Также следует отметить снижение солнечной инсоляции на 65° с. ш. за счет изменения орбитальных параметров планеты. Само по себе изменение орбитальных параметров почти не меняет общее количество приходящей к Земле за год радиации, но, как следует из «теории Миланковича», именно изменение летней солнечной инсоляции в высоких широтах Северного полушария в первую очередь ответственно за смену ледниковых и межледниковых эпох на планете<sup>5</sup>.

Изменение всех этих факторов в сумме и привело к похолоданию между началом нашей эры и XIX веком, которое мы видим на рис. 2.

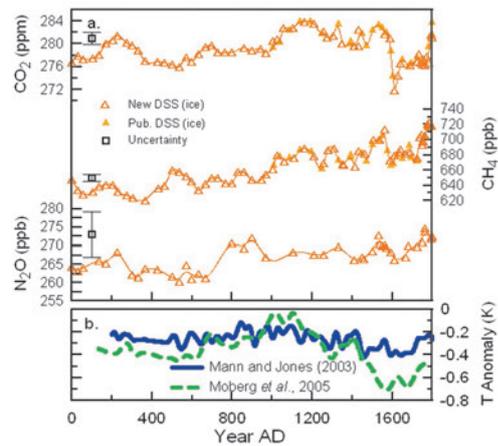
Рассмотрим теперь каждый фактор более подробно, и начнем с парниковых газов.

Рис. 5. Данные о концентрации парниковых газов (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O) в атмосфере за 1800 лет нашей эры по керну Купола Лоу. Треугольники – исходные данные, линия – сглаживание (по 40 годам для углекислого газа и метана, и по 100 годам для закиси азота). На нижней панели показаны аномалии температуры Северного полушария по двум разным источникам данных. Из статьи MacFarling Meure et al., 2006

### Парниковые газы

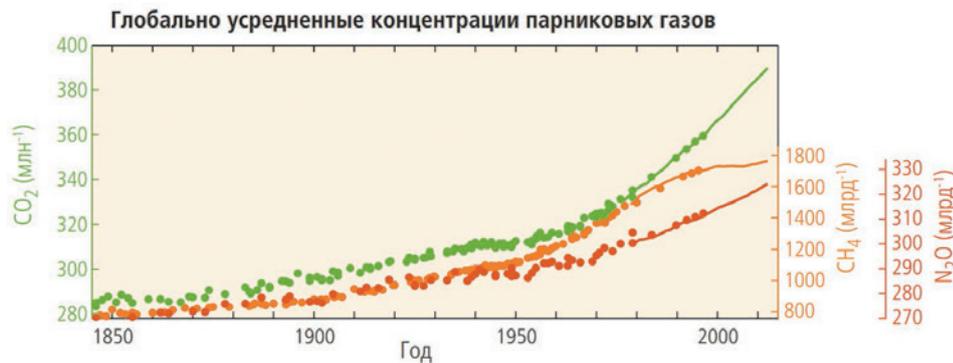
Реконструировать концентрацию парниковых газов (ПГ) в атмосфере помогают антарктические ледяные керны. Дело в том, что при низких температурах формирование льда происходит без участия жидкой воды: снег медленно спрессовывается под тяжестью вышележащих слоев и превращается сначала в фирн, а потом и в лед. При этом воздушные поры между отдельными зернами фирна превращаются в пузырьки и навечно запечатываются в ледяной матрице. Соответственно, ученые могут бережно и аккуратно извлечь этот воздух (для этого лед можно либо расплавить, либо раскрошить его в пыль в специальной мельнице), измерить его количество и газовый состав. Чтобы получить детальную запись для последних двух тысяч лет с хорошим временным разрешением, нужно пробурить керн в точке с достаточно большой скоростью снегонакопления. Такая запись, полученная по ледяному керну с Купола Лоу, расположенного в прибрежной зоне Восточной Антарктиды, была впервые опубликована в 2006 году (MacFarling Meure et al., 2006 и рис. 5).

Эти данные показывают, что в течение последних двух тысячелетий содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере менялось значимо, хотя и в не-



аном и биосферой с другой. Кривые, показанные на рис. 5, обнаруживают и признаки антропогенного влияния в доиндустриальную эпоху. Так, плавное увеличение концентрации метана связывают с ростом численности населения и расширением площадей, занятых рисовыми полями. А резкое снижение CO<sub>2</sub> на 8 ppm в период 1570–1620 годов интерпретируется как последствие вторжения европейцев в Америку. Контакт двух цивилизаций вызвал массовые эпидемии среди коренных жителей Америки, в результате чего резко снизилась численность населения, пришло в запустение сельское хозяйство и на месте полей начала восстанавливаться естественная растительность, увеличение биомассы которой и привело к изъятию углерода из атмосферы со скоростью порядка 260 млн тонн в год (King et al., 2024).

На фоне слабых изменений концентрации ПГ в доиндустриальную эпоху особенно впечатляет ее рост начиная с конца XIX века (рис. 6).



больших пределах (приблизительно на 8 ppm<sup>6</sup>, между 276 и 284 ppm). Это в 12,5 раз меньше, чем изменение концентрации углекислого газа при переходе от максимума оледенения к голоцену (от 180 до 280 ppm), и в 18 раз меньше, чем современное антропогенное повышение (от 280 до 420 ppm). Тем не менее даже эти небольшие колебания могли оказывать влияние на климат: например, резкое снижение концентрации CO<sub>2</sub> в XVI веке на 8 ppm могло быть одной из причин похолодания Малой ледниковой эпохи. Причиной изменения концентрации CO<sub>2</sub> могло быть небольшое смещение баланса потоков углерода между атмосферой с одной стороны, и оке-

Рис. 6. Рост концентрации парниковых газов в атмосфере Земли с середины XIX века (из пятого оценочного доклада<sup>7</sup> МГЭИК). Точки – данные по антарктическим ледяным кернам, линии – инструментальные наблюдения

Кривая на рис. 6 датируется 2014 годом и уже успела устареть, так как концентрация ПГ растет очень быстро. К февралю 2025 года содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере по текущим данным<sup>8</sup> достигло 426 ppm (0,0426%) – такой высокой концентрации углекислого газа наша планета не видела около 9 млн лет (Witkowski et al., 2024).

<sup>4</sup> Поглощательная способность поверхности называется альбедо, оно может принимать значения от 0 (когда вся энергия поглощается) до 1 (когда вся энергия отражается).

<sup>5</sup> www.trv-science.ru/2021/02/v-poiskax-drevnejshogo-lda-na-zemle/

<sup>6</sup> ppm – parts per million, частей на миллион. 1 ppm = 0,01 %.

<sup>7</sup> ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\_AR5\_FINAL\_full\_ru.pdf

<sup>8</sup> www.co2.earth/daily-co2

## ► Солнечная активность

В настоящее время поток солнечной энергии к Земле меряется напрямую, с помощью спутников. Полученные данные прежде всего говорят о том, что «солнечная постоянная» не совсем постоянна: за последние 40 лет она менялась в среднем на  $2 \text{ Вт/м}^2$  — между  $1360 \text{ Вт/м}^2$  во время минимумов 11-летнего цикла и  $1362 \text{ Вт/м}^2$  во время максимумов<sup>9</sup>. Изменения солнечной радиации коррелируют с количеством солнечных пятен в рамках 11-летнего цикла солнечной активности — и, таким образом, ряды «чисел Вольфа» (данных о количестве пятен) могут быть использованы для реконструкции солнечной активности за период с XVII века, когда начались систематические наблюдения за Солнцем.

Для реконструкции солнечной активности в более отдаленные эпохи вновь приходят на помощь палеогеографические архивы — годовичные кольца деревьев и ледяные керны. Метод основан на том, что колебания солнечной активности модулируют поток космических лучей: чем выше активность — тем меньше их достигает Земли. При взаимодействии космического излучения с молекулами воздуха образуются различные радиоактивные изотопы. Один из них — это  $^{14}\text{C}$ , радиоактивный изотоп углерода. Он наряду с обычными стабильными изотопами ( $^{12}\text{C}$  и  $^{13}\text{C}$ ) усваивается растениями и участвует в построении органического вещества. После смерти растение перестает потреблять углерод из атмосферы, запасы  $^{14}\text{C}$  перестают пополняться и его концентрация начинает убывать с периодом полураспада  $T_{1/2}$  около 5730 лет. Таким образом, по концентрации  $^{14}\text{C}$  в органике мы можем узнать ее возраст  $t$ , воспользовавшись несложным соотношением:

$$t = 1/\lambda \ln(R/R_0),$$

где  $\lambda$  — постоянная распада, которая равна  $\ln(2)/T_{1/2}$ , а  $R$  и  $R_0$  — текущая и первоначальная концентрация углерода-14 в органике. Этот метод (за открытие которого американский ученый Уиллард Либи получил Нобелевскую премию по химии 1960 года) широко используется в палеогеографии, истории, археологии и палеонтологии.

Нетрудно заметить, что в этой формуле фигурирует первоначальная концентрация  $^{14}\text{C}$  в органике, которая связана с его концентрацией в атмосфере, а последняя в свою очередь — с интенсивностью производства этого изотопа в атмосфере, т. е. с интенсивностью потока космических лучей и в конечном итоге с солнечной активностью. Таким образом, если у нас есть независимые данные о возрасте органики, мы можем решить обратную задачу и узнать  $R_0$ , а из нее извлечь данные о колебаниях солнечной активности в прошлом.

Еще один образующийся в атмосфере радиоактивный изотоп — бериллий-10 ( $^{10}\text{Be}$ ). Он осаждается на поверхности планеты, в том числе и на полярных ледяных щитах. Соответственно, концентрацию этого изотопа можно измерить в ледяных кернах, и по ней рассчитать изменение солнечной активности в прошлом.

Следующая задача — синхронизировать ряды солнечной активности, реконструированные по дендрохронологии и по ледяным кернам. Датировки по годовичным кольцам деревьев довольно точные, поскольку для того, чтобы узнать возраст, можно просто поштучно посчитать кольца от современной эпохи назад в прошлое. С ледяными кернами Антарктиды такой номер не пройдет: из-за слишком малой скорости снегонакопления выделение отдельных годовых слоев невозможно, и датировка керна может содержать погрешности. Для синхронизации двух наборов данных используют крупные вспышки космического излучения. Одной из наиболее известных таких вспышек является так называемое событие Мияке 774 года н. э., обнаруженное японской аспиранткой Фусой Мияке в 2012 году. Позже было обнаружено аналогичное событие, датированное 993 годом н. э. (Büntgen et al., 2018). Эти события проявляются в виде пиков концентрации  $^{14}\text{C}$  в древесине деревьев и  $^{10}\text{Be}$  в ледяных кернах. Поскольку это событие, очевидно, одновременно охватывало всю Землю, эти пики позволяют синхронизировать между собой различные палеогеографические кривые по дендрохронологии и по ледяным кернам.

На рис. 7 показана сводная кривая солнечной активности за последние 2000 лет, реконструированная по разным палеогеографическим источникам.

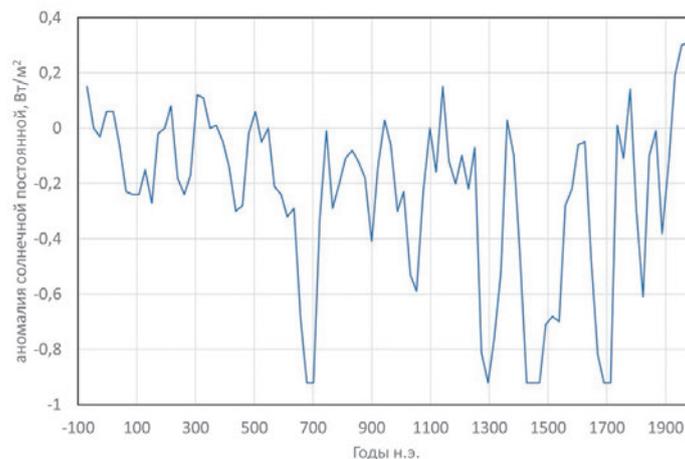


Рис. 7. Реконструированная кривая аномалий солнечной активности за последние 2000 лет, сглаженная по 22 годам. По данным из работы Steinhilber et al., 2012

На этом рисунке показан сглаженный ряд солнечной активности, поэтому 11-летний цикл не виден. Отчетливо проявляются более долгопериодные колебания длиной от 80 до 260 лет (средняя длина периода 154 лет). Размах колебаний солнечной активности составил около  $1,2 \text{ Вт/м}^2$ , причем современное значение солнечной постоянной близко к максимальному за 2000 лет. Во втором тысячелетии нашей эры случилось несколько периодов пониженной солнечной активности, последний из которых имел место в конце XVII — начале XVIII века. Это снижение активности известно, как «Маундеровский минимум» — по имени английского астронома Эдварда Уолтера Маундера, открывшего это явление. Маундер, изучая архивные записи, обнаружил, что в период с 1645 по 1715 год на Солнце практически не наблюдалось пятен. Нетрудно за-

метить, что Маундеровский минимум случился в самый разгар Малой ледниковой эпохи; когда я учился в университете, именно снижением солнечной активности наши профессора объясняли причины этого холодного эпизода климатической истории.

Аналогичные минимумы активности во второй половине XI века, в конце XIII века, второй половине XV века — первой половине XVI века и в первой половине XIX века носят названия минимумов Оорта, Вольфа, Шперера и Дальтона.

В целом нетрудно заметить, что во втором тысячелетии нашей эры солнечная активность была явно ниже, чем в первом тысячелетии, что могло сыграть роль в снижении глобальной температуры на протяжении позднего голоцена.

## Вулканическая активность

В представлениях многих климатических скептиков вулканы выбрасывают огромное количество углекислого газа, по сравнению с которым антропогенные выбросы — это «легкий чих». Если бы это было так, после крупных извержений концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере повышалась бы, а температура росла (причем это влияние продолжалось бы долгое время). В действительности после крупных извержений температура планеты немного понижается — это хорошо задокументировано во время крупного извержения филиппинского вулкана

Пинатубо в июне 1991 года, после которого температура планеты понизилась на  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Правда, бывают и исключения: после извержения подводного вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай в январе 2022 года в атмосферу попало огромное количество водяного пара; а поскольку водяной пар — тоже парниковый газ, это привело к небольшому повышению глобальной температуры.

В действительности вулканы выбрасывают не так уж много  $\text{CO}_2$  — в среднем за год все вулканы мира производят порядка 400 млн тонн углекислого газа, что в сто раз меньше антропогенных выбросов.

Зато выбрасывается огромное количество оксидов серы. Если извержение было недостаточно мощным, эти газы остаются в тропосфере и быстро вымываются осадками. При сильном же извержении его продукты забрасываются в стратосферу, где влаги относительно мало, и там они могут находиться в течение нескольких лет. Реагируя с водой, оксид серы образует мельчайшие капельки серной кислоты, которые формируют защитный экран вокруг планеты, отражающий солнечные лучи — именно это и приводит к похолоданию.

Со временем серная кислота осаждается на поверхность Земли — в том числе и на поверхность полярных ледяных щитов, где ее можно обнаружить в записях электропроводности и химического состава ледяных кернов (рис. 8). При этом из-за того, что межполушарный обмен в стратосфере затруднен, продукты извержения вулканов Северного полушария можно найти в кернах Гренландии, но (за редкими исключениями) они отсутствуют в антарктических кернах. ►

<sup>9</sup> spot.colorado.edu/~koppig/TSI/

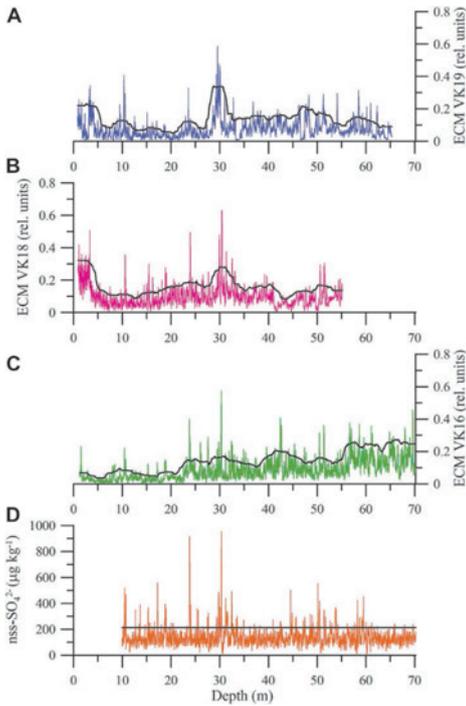


Рис. 8. Записи электропроводности (А-С) и концентрации сульфатов (D) в фирновых ядрах со станции «Восток». Из статьи Veres et al., 2023

И наоборот, следы вулканов Южного полушария можно найти в Антарктиде, но не в Гренландии. Если же извержение случилось в тропической зоне — соответствующее ему повышенное содержание  $SO_4^{2-}$  можно обнаружить в ледяных ядрах обоих полушарий.

Прежде чем продолжить рассказ о влиянии вулканов на климат, нам надо познакомиться со шкалой вулканической активности — VEI (Volcanic explosivity index). Индекс VEI характеризует мощность отдельного извержения по объему выброшенной в атмосферу породы и по высоте столба пепла. Минимальное значение индекса — 0 — обозначает извержение «невзрывного типа» с объемом выбросов менее 10 тыс. м<sup>3</sup>. К таким, например, относятся некоторые гавайские вулканы. VEI 1 — это извержения с объемом от 10 тыс. м<sup>3</sup> до 0,001 км<sup>3</sup> и с высотой столба до 1 км. В дальнейшем при увеличении индекса на единицу объем выброшенного материала возрастает в десять раз. Начиная с VEI 4 (объем выбросов от 0,1 до 1 км<sup>3</sup>), высота «эруптивной колонны» достигает 10 км, а это значит, что продукты извержения попадают в стратосферу и могут оказывать влияние на глобальный климат. Именно такую мощность имело знаменитое извержение исландского вулкана Эйяфьядлайекюдль в 2010 году. Начиная с VEI 6 (объем выбросов от 10 до 100 км<sup>3</sup>) каждое извержение оказывает заметное влияние на климат Земли — такую мощность имело уже упомянутое извержение Пинатубо в 1991 году.

Наконец, VEI 7 (объем выбросов больше 100 км<sup>3</sup>) — это самые мощные извержения, с которыми имело дело человечество за всю историю цивилизации. Самым последним — и самым известным! — извержением такой мощности был взрыв индонезийского вулкана Тамбора в апреле 1815 года.

В истории Земли случались и извержения мощностью VEI 8, их еще называют «мегаизвержениями». Последним из них было

извержение новозеландского вулкана Таупо 26,5 тыс. лет назад. Извержения мегавулканов — это отдельная интересная тема, но, поскольку в голоцене таких событий не случилось, поговорим о них в другой раз.

Влияние крупных извержений на климат проще всего пояснить на примере Тамборы, поскольку об этом событии доступно больше всего информации (достаточно набрать в поисковике «год без лета»). Если вкратце, то выброс сульфатного аэрозоля в стратосферу привел к похолоданию планеты на 0,4–0,7 °С. Особенно сильным (в среднем на 1,1 °С, но в отдельных регионах гораздо больше) было похолодание лета 1816 года, результатом которого стали неурожай, голод и эпидемии. Среди необычных последствий «года без лета» называют создание повести «Франкенштейн, или современный Прометей» Мэри Шелли и изобретение велосипеда.

Но крупные извержения случались и раньше (рис. 9).

Первые столетия нашей эры были временем относительно благоприятного климата, эту эпоху называют Римским теплым периодом. Это время характеризуется почти полным отсутствием крупных вулканических событий, за исключением извержения вулкана Окомк (Аляска, 43 год до н. э., VEI 6). Знаменитое извержение Везувия в 79 году н. э., уничтожившее Помпеи и несколько других римских городов, тоже было довольно мощным (VEI 5), но не оказало существенного влияния на климат.

Благодать закончилась в середине VI века, причем довольно резко. Началась аномалия в 536 году с наблюдением «таинственного облака» в Средиземноморье — видимо, состоящего из пепла крупного извержения, случившегося где-то в Северном полушарии. Температура летом 536 года опустилась

в Европе на 1,6–2,5 °С. Второе извержение случилось в 539–540 годы, по всей видимости в тропиках (скорее всего, это был вулкан Илопанго, Сальвадор), так как его следы найдены и в Гренландии, и в Антарктиде (в том числе и в ядрах станции «Восток», Veres et al., 2023). Количество выброшенного аэрозоля было на 10% больше, чем при Тамборе; летние температуры в Европе в 541 году упали на 1,4–2,7 °С, и холодный период длился до 550 года. Это вызвало голод и спровоцировало Юстинианову чуму, что сильно сократило население Средиземноморья и, возможно, Китая. Затем случились еще два крупных извержения в 574 году (тропики; скорее всего, вулкан Рабул на острове Папуа — Новая Гвинея) и 626 году (Северное полушарие), Büntgen et al., 2020; Sigl et al., 2015.

Наступила так называемая позднеантичная Малая ледниковая эпоха (рис. 9), которая продлилась пару столетий и ознаменовалась падением империи Сасанидов, Восточно-тюркского каганата, кризисом Византийской империи. Двадцатилетие между 536 и 555 годами было, возможно, самым холодным в умеренной зоне Северного полушария за последние 2000 лет (Büntgen et al., 2020; van Dijk et al., 2024).

Новая теплая эпоха наступила в X веке н. э., она носит название Средневековый теплый период. Сокращение площади морского льда в то время позволило викингам освоить Исландию и Гренландию, и тогда же эскимосская культура Туле начала распространяться из Аляски на северо-восток Канады и в Гренландию.

В XIII веке наступает новая холодная эпоха — Малый ледниковый период (МЛП), продлившийся вплоть до начала индустриальной эры во второй половине XIX века. Начало МЛП можно более или менее условно датировать извержением индонезийского

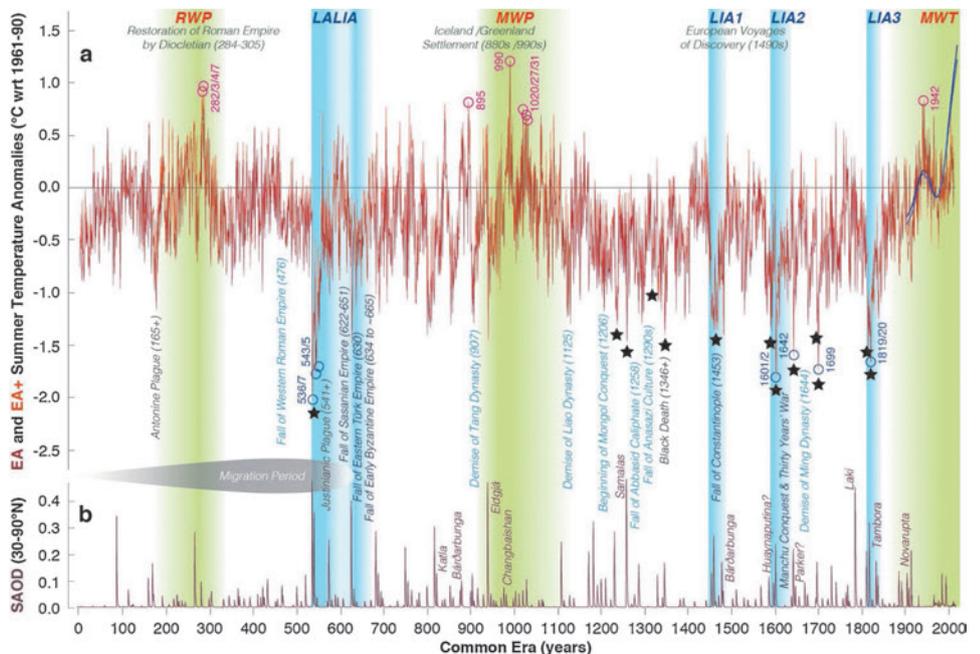


Рис. 9. Реконструкция аномалий летней температуры воздуха в Северном полушарии по сравнению с периодом 1961–1990 годов (красная кривая). Синяя кривая — инструментальные измерения температуры. Зеленая и голубая заливка — теплые и холодные эпохи (RWP — Римский теплый период, LALIA — Позднеантичная малая ледниковая эпоха, MWP — Средневековый теплый период, LIA — Малая ледниковая эпоха, MWT — современное потепление). Розовые и синие кружки — десять самых теплых и самых холодных лет. На нижней шкале показана «оптимальная толщина стратосферного аэрозоля» — одна из характеристик мощности извержений — и подписаны некоторые из известных извержений. Также на рисунке обозначены некоторые ключевые исторические события, а звездочками показаны годы, когда случались крупные эпизоды голода. Из статьи Büntgen et al., 2020

▶ вулкана Самалас в 1257 году — крупнейшим вулканическим событием позднего голоцена, имеющим индекс VEI 7. На фоне в целом пониженной температуры наблюдались три особенно холодных эпизода МЛП:

- в середине XV века (отчасти совпадает со Шпереровским минимумом солнечной активности);
- в конце XVI — первой половине XVII века (совпадает со снижением концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере, см. рис. 5);
- в первой половине XIX века (совпадает с Дальтоновским минимумом солнечной активности).

Все они были «приурочены» к сериям крупных вулканических извержений (рис. 9). Например, второй эпизод был связан с извержениями колумбийского вулкана Руис (1595, VEI 4), перуанского вулкана Уайнапутина (1600, VEI 6) и филиппинского вулкана Паркер (он же гора Мелибенгой, 1641 год, VEI 5). Одним из важных исторических последствий этого холодного периода был Великий голод в России (1601–1603 годы), ставший одной из причин Смутного времени.

Детальный разбор социально-исторических последствий крупных извержений выходит за рамки нашего повествования, но можно отметить некоторую общую закономерность: за извержением следует понижение летних температур в течение ряда лет, которое приводит к неурожаям и эпидемиям (распространению болезней способствует переохлаждение и ослабление организма на фоне недоедания). Голод приводит к социальным бедствиям и войнам за ресурсы, в процессе которых эти самые ресурсы могут гибнуть, что еще сильнее обостряет последствия неурожая. Если сопоставить ход температуры в Европе с 1000 по 1900 год с экономическими и демографическими показателями, между ними обнаруживается четкая корреляция — чем ниже температура, тем чаще случаются голодные годы, эпидемии и войны, и, как следствие — ниже прирост населения (или даже его убыль), Zhang et al., 2011.

Максимальное похолодание наблюдается спустя один год после извержения тропического вулкана. После крупных извержений похолодания длились около 5–6 лет, температура лета снижалась на  $0,6 \pm 0,2$  °C, а для извержений уровня Тамборы или мощнее — на  $1,1 \pm 0,6$  °C. Если же следовали друг за другом несколько мощных извержений (как в середине VI века или в конце XVI — начале XVII века, или в начале XIX века), холодный период мог затянуться на несколько десятилетий, чему способствовали положительные обратные связи (например, увеличение площади морского льда), Büntgen et al., 2020; van Dijk et al., 2022, 2024.

## Переход к современному потеплению

А когда, собственно, началось современное потепление? И было ли его начало синхронным в разных регионах планеты? Этим вопросом задались Нэрили Абрам с соавторами (Abram et al., 2016). Они собрали опубликованные палеоклиматические данные отдельно по десяти регионам — Арктика, Европа, Азия, Северная Америка, Западная Атлантика, Западная часть Тихого океана, Индийский океан, Австралия и Океания, Южная

Америка и Антарктида — и для каждого региона посчитали аномалию температуры за период с 1500 по 2000 год (рис. 10).

Самой набор палеогеографической информации для каждого региона различается: для континентов Северного полушария это в основном дендрохронология, для океанов — донные осадки и кораллы, а для Антарктиды — ледяные керны. Затем, применив статистические методы, авторы определили наиболее вероятную точку перегиба кривых, когда температура от ровного «плато» перешла к положительному тренду, связанному с современным потеплением. Оказалось, что переход к современному потеплению не был синхронным: началось оно в конце 1820-х — начале 1830-х в тропических зонах океанов, а также в Арктике. Затем около 1850 года пришел черед континентов Северного полушария. Последними, на рубеже XIX и XX веков, были Южная Америка, Австралия и Океания. А вот в Антарктиде — если верить палеогеографическим данным — потепление так и не началось (рис. 10). И это совершенно удивительный и непонятный факт, тем более что метеонаблюдения на немногочисленных метеостанциях в Центральной Антарктиде («Амундсен — Скотт» и «Восток») показывают довольно интенсивный рост температуры (см., напр., Ekaikin et al., 2023), да и климатические модели вроде бы говорят, что потепление должно быть (Goursaud Oger et al., 2024).

Удовлетворительного объяснения этому феномену нет до сих пор, хотя есть разные версии. Например, Матье Касадо считает, что на самом деле антропогенный тренд в Антарктиде есть, но он отчасти скрыт большой межгодовой изменчивостью, и что климатологи недооценивают истинные масштабы потепления в Антарктиде (Casado et al., 2023). Недавно мы предложили еще более простое объяснение этому «пропавшему антропогенному потеплению» в Антарктиде (Ekaikin et al., 2024). Суть его вот в чем: как сказано выше, для реконструкции прошлых температур в Антарктиде используют изотопный состав (концентрацию тяжелых изотопов кислорода либо дейтерия)

ледяных кернов, который, как считается, физически связан с температурой конденсации осадков. В действительности же изотопный состав определяется разностью температуры в источнике влаги (поверхность океана в средних широтах Южного полушария) и в пункте выпадения осадков — чем больше эта разность, тем больше доля влаги покидает воздушную массу, тем сильнее «изотопное истощение», тем ниже изотопный состав осадков в конце траектории. Если обе эти температуры (в начале и в конце траектории) повышаются параллельно, то изотопный состав осадков в Антарктиде меняется слабо. Иными словами, температура в Антарктиде растет, но температура в средних широтах Южного полушария растет еще сильнее, и в результате изотопный состав осадков в Центральной Антарктиде меняется слабо, что и создает иллюзию «пропавшего потепления». Пока это объяснение существует лишь на уровне гипотезы, которую надо проверить не только по кернам станции «Восток», но и по кернам других антарктических регионов.

## Как меняется баланс массы Антарктиды при повышении температуры?

В завершении этой заметки давайте посмотрим, как меняется баланс массы Антарктиды в ходе современного потепления. Начнем с определений: баланс массы — это разница между накоплением (аккумуляцией) массы за какой-то период времени (обычно за год) и ее потерей (абляцией) за тот же период времени. В горных ледниках аккумуляция состоит из твердых осадков зимой и привноса снега метелью в зону питания, а абляция — за счет летнего таяния. В Антарктиде всё немного по-другому: аккумуляция состоит из снега, который выпадает в твердом виде на протяжении всего года за вылетом небольшой доли, которая сублимирует (испаряется) в летний период. Таяние льда в Антарктиде при современном климате пока еще невелико, и абляция осуществляется в основном за счет откола айсбергов (иногда говорят «отела айсбергов») по краям ледяного щита и за счет таяния нижней поверхности ледяных шельфов, которая соприкасается с относительно теплой океанической водой. Последние двадцать лет Антарктида интенсивно теряет массу — это происходит в основном за счет утончения ледяных шельфов и ускорения движения льда из центральных районов континента к океану (см. обзор в статье Noble et al., 2020). Правда, географически потеря массы происходит очень неравномерно: в основном она сосредоточена в Западной Антарктиде на побережье моря Амундсена, на Антарктическом полуострове, а также на отдельных небольших участках побережья Восточной Антарктиды. В других районах (Земля Королевы Мод), напротив, масса немного прибывает, хотя общий баланс для всей Антарктиды однозначно отрицательный.

Казалось бы, всё понятно: температуры выше — льда меньше. Однако же география не была бы такой увлекательной наукой, если бы в ней всё было так просто. Согласно уравнению Клаузиуса — Клапейрона, давление насыщения водяного пара растет при увеличении температуры. То есть чем теплее климат — тем более влажный воздух поступает в Центральную Антарктиду. Там он вовлекается ▶

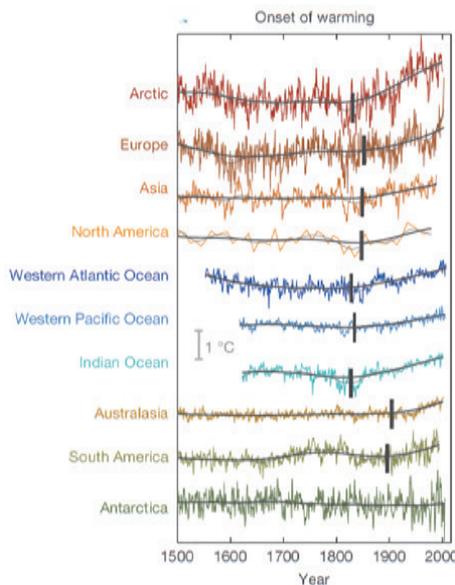


Рис. 10. Начало современного потепления в десяти различных регионах планеты. Из статьи Abram et al., 2016

▶ в полярный вихрь, опускается вниз, охлаждается — и влага из него выжимается и выпадает в виде осадков — «ледяных игл», которые наблюдаются почти ежедневно при ясном небе (поэтому другое их название — «осадки с ясного неба»; а по-английски их называют «diamond dust» — «алмазная пыль» — из-за того, что кристаллики льда красиво посверкивают в лучах солнца). То есть чем теплее — тем больше выпадает снега, тем больше приходная часть баланса массы (аккумуляция). Соответственно, важный вопрос: какова чувствительность осадков к температуре, т. е. на сколько увеличивается аккумуляция при повышении температуры на 1 °C? Из уравнения Клаузиуса — Клапейрона можно вывести, что на каждый градус температуры влаги должно прибывать примерно на 7% (правда, зависимость не линейная). Но и тут всё не так просто! Во-первых, с ростом температуры растёт и скорость сублимации снега, поэтому рост количества осадков не обязательно должен сопровождаться таким же ростом снегонакопления. Во-вторых, помимо термодинамического фактора влияет и фактор, связанный с изменением атмосферной циркуляцией. В частности, современное потепление сопровождается усилением так называемой Южной кольцевой моды (SAM — Southern Annular Mode) — основного режима атмосферной циркуляции Южного полушария, который во многом определяет климат Антарктики (Noble et al., 2020). Чем сильнее SAM, тем больше контраст температур между средними и высокими широтами, тем ниже температура и количество осадков в Антарктиде (кстати, усиление SAM — одна из возможных причин того, почему современное потепление не так сильно проявляется на шестом континенте). С другой стороны, изменение климата сопровождается усилением и учащением так называемых атмосферных рек — мощных затоков тепла и влаги из средних в полярные широты, которые, как считается, приносят значительную долю осадков в Антарктиду (Gorodetskaia et al., 2014).

Так или иначе, но палеогеографические данные и климатические модели в целом подтверждают простые теоретические расчёты по уравнению Клаузиуса — Клапейрона, хотя и дают довольно большой разброс значений чувствительности, в диапазоне от 2 до 10% увеличения снегонакопления на 1 °C (см. обзор в Nicola et al., 2023).

Недавно нам удалось уточнить значение этой величины, используя уникальные данные со станции «Восток». Дело в том, что на «Востоке» начиная с января 1970 года непрерывно ведутся инструментальные наблюдения за скоростью накопления снега — это самый длительный подобный ряд, существующий в Центральной Антарктиде, полученный с использованием одной и той же методики, и при том с относительно небольшой погрешностью значений. Сопоставление ряда скорости аккумуляции снега с рядом температуры показало, что чувствительность составляет  $11 \pm 2\%$  на 1 °C (Ekaikin et al., 2023). Примерно такая же величина получилась и по палеоклиматическим данным за последние 2000 лет (Ekaikin et al., 2024). Более того, оказалось, что современный рост снегонакопления — беспрецедентен для доиндустриального периода, т. е. современная скорость аккумуляции снега на

станции «Восток» (22,5 мм водного эквивалента в год в 1970–2021 годы) никогда не наблюдалась за предыдущие два тысячелетия.

Это в целом хороший вывод для всех нас. Хотя практически все прогнозы до конца XXI века говорят о том, что Антарктида будет терять массу (Noble et al., 2020), но довольно высокая чувствительность снегонакопления к температуре означает, что при дальнейшем потеплении рост количества осадков будет отчасти компенсировать рост уровня Мирового океана.

## Заключение

В качестве заключения хотелось бы поговорить вот о чем. При чтении раздела о влиянии похолоданий на развитие цивилизации читатель уже наверняка сделал вывод о том, что раз похолодание — это плохо, то современное потепление — это хорошо (тем более, что увеличение парциального давления CO<sub>2</sub> в воздухе благоприятно влияет на растительность!)

Увы, это не так.

Во-первых, при современном развитии сельского хозяйства, наличии мирового рынка продовольствия и т. д. человечество уже не так сильно зависит от климатических скачков, как в доиндустриальную эпоху. Да и с эпидемиями современная медицина справляется худо-бедно научилась (тут, вспоминая ковид, многие со мной, пожалуй, не согласятся). Не говоря уж о том, что тёплый климат благоприятствует распространению возбудителей многих заболеваний (малярии, лихорадки Денге, клещевого энцефалита и т. д.).

Во-вторых, всё хорошо в меру, у каждой сельскохозяйственной культуры есть свой оптимальный температурный диапазон, и температура выше этого диапазона так же опасна, как и температура ниже оптимума. К тому же помимо тепла растениям нужна и влага — а изменение климата грозит засухами многим сельскохозяйственным районам.

В-третьих, изменение климата далеко не сводится лишь к повышению температуры — нет, это огромный комплекс взаимосвязанных процессов, каждый из которых может угрожать тому или иному региону Земли: повышение уровня моря, эрозия берегов, деградация многолетней мерзлоты, сокращение морского льда, лесные пожары, увеличение частоты экстремальных осадков и наводнений, закисление и гипоксия океана и т. д. и т. п.

Изучение климата Земли за последние 2000 лет подтверждает, что в последние десятилетия климатическая система вышла за рамки естественной изменчивости, характерной для позднего голоцена. Прогнозы говорят, что при дальнейшем росте концентрации парниковых газов количество негативных последствий будет лишь возрастать, и многие компоненты земной системы вот-вот перейдут через порог, за которым начнутся необратимые изменения (а некоторые компоненты — такие, как горные ледники или уровень моря — уже перешли этот порог). Это не повод для паники, а лишь напоминание о необходимости ускорить принятие мер по снижению выбросов парниковых газов, а в более отдаленной перспективе и по изъятию их из атмосферы!

Кстати, не исключено, что человечество решит не возвращаться к доиндустриальному уровню CO<sub>2</sub> (280 ppm), а остановится на каком-то более высоком уровне, который обеспечит

более комфортные оптимальные условия для жизни. Но это вопрос довольно отдаленного будущего, для нас с вами он пока не актуален.

*Изучение климата за 2000 лет на станции «Восток» выполнялось при поддержке Российского научного фонда, грант 21–17–00246*

1. Abram N.J. et al. Early onset of industrial-era warming across the oceans and continents // *Nature*. — 2016. — V. 536, № 7617. — P. 411–418.
2. Büntgen U. et al. Prominent role of volcanism in Common Era climate variability and human history // *Dendrochronologia*. — 2020. — V. 64, № 125757. — P. 1–11.
3. Büntgen U. et al. Tree rings reveal globally coherent signature of cosmogenic radiocarbon events in 774 and 993 CE // *Nature Communications*. — 2018. — V. 9, № 3605. — P. 1–7.
4. Cartapanis O. et al. Complex spatio-temporal structure of the Holocene Thermal Maximum // *Nature Communications*. — 2022. — V. 13, № 5662. — P. 1–11.
5. Casado M., Hebert R., Faranda D., Landais A. The quandary of detecting the signature of climate change in Antarctica // *Nature Climate Change*. — 2023. — V. 13, № 10. — P. 1082–1088.
6. Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation // *Tellus*. — 1964. — V. 16. — P. 436–468.
7. Degroot D. et al. The history of climate and society: a review of the influence of climate change on the human past // *Environ. Res. Lett.* — 2022. — V. 17, № 103001. — P. 1–35.
8. Ekaikin A.A., Lipenkov V.Y., Tebenkova N.A. Fifty years of instrumental surface mass balance observations at Vostok Station, central Antarctica // *J. Glaciol.* — 2023. — P. 1–13.
9. Ekaikin A.A., Veres A.N., Wang Y. Recent increase in the surface mass balance in central East Antarctica is unprecedented for the last 2000 years // *Nature Communications*. — 2024. — V. 5, № 200. — P. 1–8.
10. Gorodetskaia I. et al. The role of atmospheric rivers in anomalous snow accumulation in East Antarctica // *Geophys. Res. Lett.* — 2014. — V. 41. — P. 6199–6206.
11. Goursaud Oger S., Sime L.C., Holloway M. Decoupling of  $\delta^{18}O$  from surface temperature in Antarctica in an ensemble of historical simulations // *Clim. Past*. — 2024. — V. 20. — P. 2539–2560.
12. Gregory J.M. et al. A new method for diagnosing radiative forcing and climate sensitivity // *Geophys. Res. Lett.* — 2004. — V. 31, № L03205. — P. 1–4.
13. King A.C.F. et al. Reconciling ice core CO<sub>2</sub> and land-use change following New World-Old World contact // *Nature Communications*. — 2024. — V. 15, № 1735. — P. 1–9.
14. MacFarling Meure C. et al. Law Dome CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O ice core records extended to 2000 years BP // *Geophys. Res. Lett.* — 2006. — V. 33, № L14810. — P. 1–4.
15. Mann M., Bradley R. & Hughes M. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries // *Nature*. — 1998. — V. 392. — P. 779–787.
16. Masson-Delmotte V. et al. A comparison of the present and last interglacial periods in six Antarctic ice cores // *Clim. Past*. — 2011. — V. 7. — P. 397–423.
17. Nicola L., Notz D., Winkelmann R. Revisiting temperature sensitivity: how does Antarctic precipitation change with temperature? // *The Cryosphere*. — 2023. — V. 17. — P. 2563–2583.
18. Noble T.L. et al. The Sensitivity of the Antarctic Ice Sheet to a Changing Climate: Past, Present, and Future // *Reviews of Geophysics*. — 2020. — V. 58, № e2019RG000663. — P. 1–89.
19. PAGES<sub>2k</sub> network. Continental-scale temperature variability during the past two millennia // *Nature Geoscience*. — 2015. — V. 6. — P. 339–346.
20. PAGES2k Consortium. Consistent multidecadal variability in global temperature reconstructions and simulations over the Common Era // *Nature Geoscience*. — 2019. — V. 12. — P. 643–649.
21. *Paleoclimatology*. Edited by Ramstein G. et al.: Springer, 2021. — 478 p.
22. Sigl M. et al. Timing and climate forcing of volcanic eruption for the past 2,500 years // *Nature*. — 2015. № 14565. — P. 1–7.
23. Steinhilber F. et al. 9,400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings // *PNAS*. — 2012. — V. 109, № 16. — P. 5967–5971.
24. van Dijk E., Jungclauss J., Lorenz S., Timmreck C., Krüger K. Was there a volcanic-induced long-lasting cooling over the Northern Hemisphere in the mid-6th–7th century? // *Clim. Past*. — 2022. — V. 18. — P. 1601–1623.
25. van Dijk E.J.C., Jungclauss J., Sigl M., Timmreck C., Krüger K. High-frequency climate forcing causes prolonged cold periods in the Holocene // *Nature Communications Earth and Environment*. — 2024. — V. 5, № 242. — P. 1–9.
26. Veres A.N., Ekaikin A.A., Golobokova L.P., Khodzher T.V., Khuriganova O.I., Turkeev A.V. A record of volcanic eruptions over the past 2,200 years from Vostok firn cores, central East Antarctica // *Front. Earth Sci.* — 2023. — V. 11, № 1075739. — P. 1–12.
27. Witkowski C.R. et al. Continuous sterane and phytane  $\delta^{13}C$  record reveals a substantial  $pCO_2$  decline since the mid-Miocene // *Nature Communications*. — 2024. — V. 15, № 5192. — P. 1–9.
28. Zachos J., Pagani M., Sloan L., Thomas E., Billups K. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present // *Science*. — 2001. — V. 292. — P. 686–693.
29. Zhang D.D., Lee H.F., Wang C., Li B., Pei Q., Zhang J., An Y. The causality analysis of climate change and large-scale human crisis // *PNAS*. — 2011. — V. 108, № 42. — P. 17296–17301.

# Где и как искать новые земли, пригодные для жизни (что есть в радиусе 10 парсек)

Борис Штерн



Из серии интервью на тему «Место жизни во Вселенной», опубликованных в ТрВ-Наука<sup>1</sup>, следует, что жизнь, скорее всего, — довольно редкое явление, особенно развитая жизнь. Скорее всего, количество планет, пригодных для жизни, но безжизненных, намного превышает число обитаемых планет. Вырисовывается важнейшая (и сложнейшая) задача для человечества — распространить земную жизнь на мертвые планеты, пригодные для жизни. Где эти планеты, сколько их в пределах досягаемости и каковы эти пределы?

Есть очень полезный в науке принцип: если не знаешь, где точно надо подводить черту, делай это на самом круглом числе, попадающем в разумный интервал. Нас интересуют звездные системы, во-первых, достигаемые для перелетов за тысячи лет (при использовании ядерной энергии), во-вторых, доступные для прямого наблюдения с помощью гигантских наземных телескопов или космических интерферометров. Десять парсек будет хорошим красивым пределом, тем более что уже существуют списки звезд и экзопланет в радиусе десяти парсек.

Всего в радиусе 10 пк по данным космического телескопа Gaia насчитывается (в порядке убывания яркости):

- 4 звезды класса A (светимость 7–80  $L_{\odot}$ , срок жизни < 2 млрд лет);
- 8 звезд класса F (2–6  $L_{\odot}$ , несколько миллиардов лет);
- 18 звезд класса G (как Солнце);
- 38 класса K (0,1–0,4  $L_{\odot}$ , больше 20 млрд лет);
- 249 класса M (красные карлики, < 0,1  $L_{\odot}$ , до триллионов лет);
- 86 бурых карликов (наверняка найдена лишь небольшая часть);
- И отдельно 20 белых карликов.<sup>2</sup>

У каких из этих звезд могут быть планеты, пригодные для жизни?

Наиболее многочисленны красные карлики не очень удобны для жизни возле них. Проблем сразу несколько. Во-первых, приливное замыкание. По своей светимости красные карлики уступают Солнцу на 2–4 порядка величины. Следовательно, зона жизни находится в десятки раз ближе к звезде, и планеты в зоне жизни попадают в приливное замыкание, т. е. обращены к звезде одной стороной. Проблема не только в том, что одно полушарие всегда холодное, а другое всегда горячее. Гораздо страшнее, что на холодном полушарии может вымерзнуть вся атмосфера планеты, превратившись в ледяной слой толщиной в десятки метров — будь то азот или углекислота. Спасти от подобной катастрофы может только интенсивная атмосферная или океанская циркуляция при мощном парниковом эффекте.

Более мягкий вариант: если орбита немного вытянута, то планета может находиться в спин-орбитальном резонансе 3/2 — как Меркурий. В этом случае сутки на планете равны двум ее годам — т. е. периодам обращения вокруг звезды. Тогда для планеты в зоне жизни красных карликов день будет продолжаться несколько наших недель. Это не очень приятно, но даже столь длинные сутки вполне могут обезопасить планету от вымерзания атмосферы.

Другая проблема с пригодностью для обитания планет у красных карликов — бурная эволюция звезды в молодости: в первые десятки миллионов лет ее светимость падает в десятки раз. Это значит, что планеты, которые оказываются в зоне обитаемости через миллиард лет, хорошо «прожарены» в первые десятки миллионов лет. Но хуже даже не это (с Землей такое тоже происходило), а то, что так называемая снеговая линия, где вода способна сконденсироваться в кометы и астероиды, оказывается слишком далеко в те времена, когда формируется планетная система. Земля, скорее всего, тоже сначала была сухой, но ее «оросили» ледяные тела, прилетевшие из-за снеговой линии. В случае красных карликов подобное орошение сильно затруднено — отношение радиусов орбит, где могли формироваться ледяные тела, к радиусу зоны жизни гораздо больше, чем для Солнечной системы.

Наконец, самое печальное обстоятельство: красные карлики — очень активные звезды. На них происходят мощные вспышки, сопровождае-

мые жестким излучением, они испускают интенсивный звездный ветер. Причина — интенсивная конвекция звезд почти на всю глубину. Дело в том, что прохладные звезды ионизованы значительно слабее, чем Солнце, при этом не полностью ионизованные атомы гелия и тяжелых элементов сильно поглощают и переизлучают рентгеновские фотоны, диффундирующие из центра звезды, где идут термоядерные реакции. В результате длина диффузии фотонов оказывается слишком малой, и единственным способом передачи тепла из центра звезды наружу остается конвекция. Звезда целиком бурлит, как чайник! У Солнца тоже есть конвективная зона, но лишь во внешних слоях. Конвекция при дифференциальном вращении небесного тела (внутренности вращаются быстрее) — мощный генератор магнитного поля, как дипольного, так и турбулентного. Турбулентное поле всплывает наружу и пересоединяется в короне, что и несет вред в виде ионизирующего излучения и звездного ветра. Самое неприятное — сдираются атмосферы планет, как солнечный ветер содрал атмосферу Марса. Ветер и ультрафиолет с рентгеном от красных карликов намного сильнее, чем от Солнца, в абсолютном выражении, а учитывая, что зона жизни у красных карликов гораздо ближе к звезде, облучение планеты может быть в сотни и тысячи раз выше, чем Земля получает от Солнца. На рис. 1 показан рентгеновский поток от красных карликов на расстоянии 0,1 а. е. в зависимости от возраста звезды. Это расстояние является типичным радиусом зоны жизни для красных карликов. Поток нормирован на рентгеновское облучение, которое получает Земля от Солнца<sup>3</sup>.

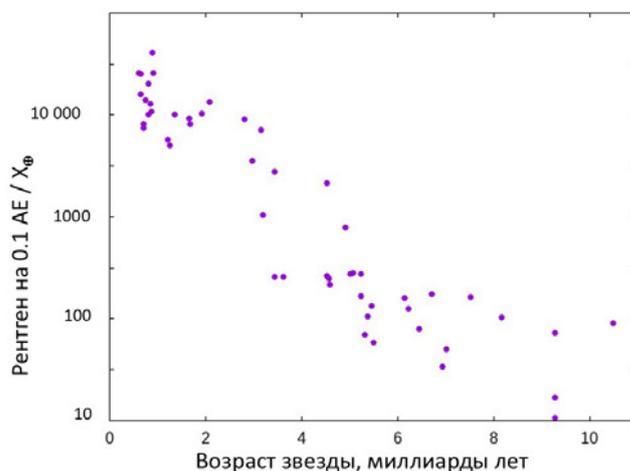


Рис. 1. Интенсивность облучения рентгеном на расстоянии 0,1 а. е. от красного карлика (примерно соответствует зоне жизни) в сравнении с облучением Земли. Интенсивность падает со временем, но в первый миллиард лет, когда планетная система уже релаксировала, она на четыре порядка выше

Результат разочаровывает: в первый миллиард лет, когда планетная система уже релаксировала и все планеты вращаются на своих местах, жесткое облучение, сдирающее атмосферу, превышает то, что падает на Землю на четыре порядка. Между тем оно лишило атмосферы Марс. Сильное магнитное поле вряд ли спасет ситуацию, поскольку планеты у красных карликов, находясь в приливном замыкании, вращаются медленно, а для генерации магнитного поля требуется быстрое вращение.

Однако при желании можно придумать вполне реальную лазейку. Например, где-то вблизи далекой снеговой линии молодого яркого красного карлика сформировалась суперземля и набралась воды, азота и других летучих веществ, обзаведясь океанами и толстой атмосферой. Потом, взаимодействуя с остатками протопланетного диска и с другими планетами, за десятки миллионов лет она мигрировала внутрь к зоне жизни, но не достигла ее, остановившись неподалеку от внешней границы. Сильный парниковый эффект обеспечил приемлемую для жизни температуру, а сильная гравитация вместе с относительно широкой орбитой способствовали удержанию атмосферы, несмотря на сильное облучение.

Конечно, такой сценарий не слишком вероятен, и в радиусе 10 пк вряд ли реализовался, несмотря на численное преимущество красных карликов. Скорее всего, надо искать перспективные планеты у звезд класса G и K (оранжевые карлики). Годится и более яркий класс F. Они живут считанные миллиарды лет, что недостаточно для полноценной ▶

<sup>3</sup> Эти данные взяты из работы: Engle S. G. Living with a Red Dwarf: X-ray, UV, and Ca II Activity-Age Relationships of M Dwarfs. [arxiv.org/abs/2310.04302](https://arxiv.org/abs/2310.04302) (название говорит само за себя — работа выполнена именно с прицелом на изучение жизнеспособности красных карликов).

<sup>1</sup> [www.trv-science.ru/tag/proisxozhdenie-zhizni/](http://www.trv-science.ru/tag/proisxozhdenie-zhizni/)

<sup>2</sup> По данным Early Gaia Data Release.

► собственной эволюции, но годятся для экспансии жизни из других систем. Таких звезд в радиусе 10 пк шесть. Всего получается более полусотни звезд, у которых стоит искать пригодные для жизни планеты. Как их искать, насколько это вообще возможно?

Есть два основных метода поиска экзопланет: по транзитам и по колебаниям лучевой скорости. Метод транзитов чувствительней к малым планетам: когда звезда размером с Землю проходит по диску звезды, подобной Солнцу, падение яркости последней — около  $10^{-4}$ , что прекрасно регистрируется.

Всего в интересующей нас сфере найдено уже сто с небольшим планет. Подавляющее большинство из них — именно у красных карликов. Однако это «эффект поиска под фонарем». Чем меньше звезда, тем легче найти у нее планету в зоне жизни, причем, любым методом. Для метода транзитов требуется удачная ориентация орбиты. Вероятность транзитов равна отношению радиуса звезды к радиусу орбиты планеты. Для Земли и Солнца это одна двухсотая, для планет в зоне обитаемости красных карликов — на порядок выше. И всё же вероятность транзитов остается невысокой для любых звезд, и в окрестностях 10 пк есть всего девять транзитных планет, причем ни одна из них не подходит для жизни — большинство находится слишком близко к звезде.

Метод лучевой скорости не зависит от удачи, но он менее чувствителен для небольших планет. Пара Земля — Солнце находится существенно ниже порога чувствительности. Скорость кругового движения Солнца, наведенная орбитальным движением Земли, — 10 см/с. Достигнутый к настоящему времени порог чувствительности по колебаниям лучевой скорости — чуть меньше полуметра в секунду. Этим методом в радиусе 10 пк найдено под сотню планет, но лишь двадцать из них принадлежат звездам класса G и K. Распределение открытых планет по массе и орбитальному периоду показано на рис. 2. Видно, что они старательно избегают той точки, где находится Земля.

Это и есть эффект наблюдательной селекции — чем легче планета и чем дальше она от звезды, тем сложнее ее обнаружить. Ближайшие к Земле планеты на этом графике — планеты у  $\tau$  Кита, еще не окончательно подтвержденные. Они обнаружены на самом крае чувствитель-

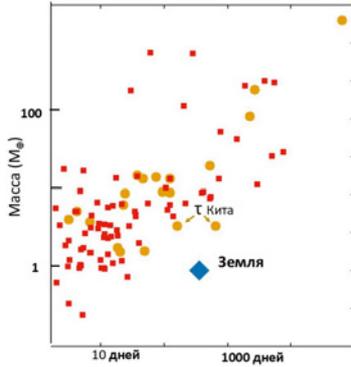


Рис. 2. Планеты, обнаруженные в радиусе 10 пк. По горизонтали — орбитальный период планеты, по вертикали — ее масса в единицах массы Земли

ности метода, лучевая скорость здесь 30–40 см/с. Чтобы достичь этого уровня пришлось прибегать к ряду ухищрений — убирать колебания лучевой скорости, связанные с «дыханием» самой звезды, что потребовало изучить разнообразные корреляции в данных о звезде. Видимо, это близко пределу метода при современном уровне наблюдений.

Планеты у звезд классов G и K показаны на рис. 4 в координатах масса звезды — радиус орбиты. Здесь планеты, относящиеся к одной звезде, группируются в столбец. Существует четкая зависимость светимости звезды главной последовательности данных классов от ее массы. Эта зависимость  $L \sim 1/M^4$ . Используя ее, мы можем примерно очертить зону жизни в зависимости от массы звезды. Видно, что в нее попадает лишь одна планета у  $\tau$  Кита. Однако это суперземля  $M > 3,9 M_{\oplus}$ . Скорее всего, у нее толстая атмосфера и сильный парниковый эффект. Более перспективным пристанищем жизни выглядит следующая планета в системе. Формально она лежит за зоной жизни, но это тоже суперземля, где мы вправе ожидать большого парниковый эффект. Между прочим, расстояние между орбитами двух упомянутых планет  $\tau$  Кита достаточно большое, чтобы между ними поместилась еще планета типа Земли, недоступная наблюдениям методом лучевой скорости.

Самая богатая система — HD 219134 (е Эридана, не путать с  $\epsilon$  Эридана) — в ней обнаружено шесть планет: пять горячих и один классический юпитер на своем месте, примерно как в Солнечной системе. В этой системе тоже вполне могла бы приютиться земля в зоне жизни.

Сколько всего планет в зоне обитаемости у звезд классов G и K может находиться в радиусе 10 пк? Метод лучевой скорости позволяет «вытянуть» только суперземли в зоне обитаемости. Единственно, на что можно опереться, — данные космического телескопа «Кеплер», который снимал кривые блеска одновременно у двухсот тысяч звезд, у которых оказалось несколько тысяч транзитных планет, в том числе размером с Землю.

Тут возникает другая проблема: «Кеплер» оказался неспособен найти землеподобные планеты с большим орбитальным периодом. Причина в том, что для обнаружения аналога Земли нужно наблюдать несколько транзитов, т. е. смотреть на звезду несколько лет. «Кеплер» проработал в основном режиме лишь три года из-за поломки двух гироскопов. Однако в данных Кеплера нашли много планет с орбитальными периодами до ста дней

Оценки, сделанные по данным космического телескопа «Кеплер», дают вероятность нахождения землеподобной планеты в зоне жизни звезд класса G от 15 до 25%. Это значит, что среди 55 планетных систем у звезд подходящих классов можно найти порядка десяти планет, пригодных для жизни. Но как их найти?

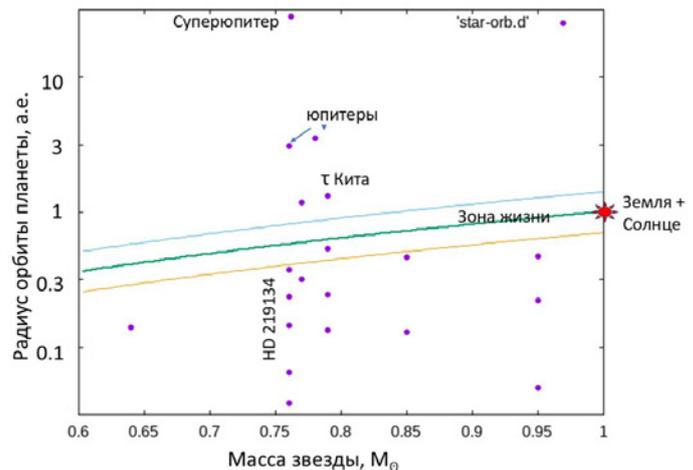


Рис. 4. Планеты у звезд классов G и K в радиусе 10 пк. Зона жизни оценивалась очень грубо по средней зависимости светимости от массы, поэтому для  $\tau$  Кита она чуть съехала ближе к звезде относительно рис. 3

Метод транзитов здесь точно не поможет, а метод лучевой скорости не дотягивает фактора 3–4 для обнаружения земель в зоне жизни. Нужен принципиально новый уровень. Скорее всего, революцию может совершить метод прямого наблюдения. Сейчас ни один инструмент не способен напрямую наблюдать планету размером с Землю неподалеку от звезды. Возможно, на это окажется способен огромный телескоп с 39-метровым зеркалом, строящийся в Чили (ELT — Extremely Large Telescope). По крайней мере, прямое наблюдение планет земной группы значится среди приоритетных целей ELT.

Однако здесь не обойтись без космических телескопов нового поколения, тем более, что экзопланеты легче и интересней наблюдать в инфракрасном диапазоне, где мешает земная атмосфера. ►

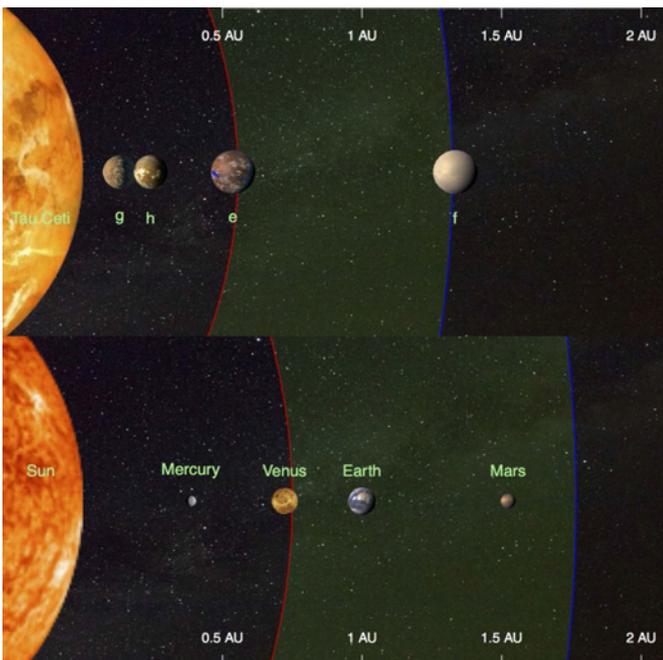


Рис. 3. Сравнение планетных систем Солнца и  $\tau$  Кита. Зеленым обозначены примерные границы зоны жизни. Обратите внимание, что в системе  $\tau$  Кита напрашивается еще одна планета между планетами e и f. Если ее масса меньше двух масс Земли, то она невидима для существующих инструментов

# АСТРОНОВОСТИ



Алексей Кудря

Алексей Кудря

## Интересная черная дыра почти рядом

Астрономы обнаружили самую массивную звездную черную дыру, когда-либо найденную в нашей галактике Млечный Путь. Эта черная дыра, получившая обозначение Gaia BH3, была открыта благодаря миссии Gaia Европейского космического агентства. Она была обнаружена по необычному «колеблющемуся» движению звезды-компаньона, вращающейся вокруг нее.

Для подтверждения своих наблюдений астрономы использовали данные Очень Большого Телескопа Европейской южной обсерватории (VLT ESO) и других наземных обсерваторий. В результате была определена масса черной дыры: она в 33 раза превышает массу Солнца.

Звездные черные дыры образуются в результате коллапса массивных звезд, и те, что были обнаружены в Млечном Пути ранее, в среднем в десять раз массивнее нашего Солнца. Даже следующая по величине звездная черная дыра в Галактике — Лебедь X-1 — достигает лишь 21 солнечной массы. Это делает новое открытие с массой черной дыры в 33 солнц поистине исключительным.

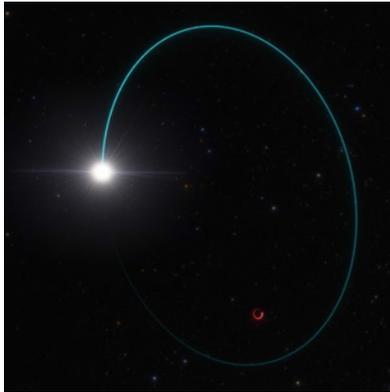
Система находится примерно в  $590,6 \pm 5,8$  пк от Земли (1926 световых годах) в созвездии Орла и является второй ближайшей известной черной дырой к нашей планете.

Звездный компонент этой системы — так называемый желтый сверхгигант спектрального класса G, бедный «металлами», который вращается вокруг невидимого объекта с периодом 11,6 земного года. Эта древняя звезда появилась в первые два миллиарда лет после Большого взрыва, когда наша галактика только начала формироваться. Согласно точным расчетам, масса звезды составляет  $0,76 \pm 0,05$  солнечной массы, а масса темного объекта —  $32,7 \pm 0,82$  солнечной массы.

Астрономы считают, что обнаружение Gaia BH3 стало важным шагом в изучении космоса, поскольку специалистам впервые удалось зафиксировать «спящую» черную дыру. Это означает, что Gaia BH3 находится в состоянии покоя и не проявляет себя активным поглощением окружающего вещества. Исследование было опубликовано в научном журнале *Astronomy & Astrophysics* (A&A) [1].

Чтобы подтвердить свое открытие, коллаборация Gaia использовала данные наземных обсерваторий, включая ультрафиолетовый и визуальный эшелле-спектрограф (UVES) на VLT ESO, который расположен в чилийской пустыне Атакама. Эти наблюдения позволили выявить ключевые свойства звезды-компаньона, что вместе с данными Gaia дало исследователям возможность точно измерить массу BH3.

Астрономам известны аналогичные массивные черные дыры за пределами нашей галактики, и предполагается, что они могут образоваться в результате коллапса звезд, возникших на заре существо-



На рисунке художника показаны орбиты звезды и черной дыры, получившей обозначение Gaia BH3, вокруг их общего центра масс. Изображение: ESO/Л. Кальсада



Крупный план протопланетного диска HH 30 вокруг протозвезды. ESA/Webb, NASA и CSA, Тадзаки

## Изображение номера — протопланетный диск HH 30

Перед нами HH 30 [2] — протопланетный диск, который мы видим с ребра. Он окружен мощными выбросами газа и расположен в темном облаке LDN 1551, входящем в состав молекулярного облака Тельца.

HH 30 относится к объектам Хербига — Аро — газовым выбросам молодых звезд, которые светятся из-за ударных волн. Саму звезду мы не видим, потому что она скрыта за плотным диском, который звезда частично освещает. Диски, наблюдаемые с ребра, в глазах астрономов имеют особую ценность. Они позволяют изучить, как перемещаются пылевые частицы, из которых впоследствии формируются звезды и планеты.

Снимок — результат работы сразу нескольких обсерваторий:

- ALMA (комплекс радиотелескопов) обнаружила пылевые частицы размером около миллиметра, сосредоточенные в узкой центральной области диска.
- Космический телескоп «Джеймс Уэбб» (более коротковолновые инфракрасные данные) показал мельчайшие частицы размером с бактерию, т. е. всего в одну миллионную метра. В то время как крупные зерна пыли сконцентрированы в самых плотных частях диска, мелкие зерна распространены гораздо шире.
- Космический телескоп «Хаббл» дополнил картину данными в видимом диапазоне.

Объединив все данные, астрономы могут наблюдать и изучать [3] как крупные частицы пыли мигрируют в плотные слои диска, тем самым создавая планетезимали — первые «заготовки» будущих планет.

2. [esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2025/02/HH\\_30\\_MIRI\\_NIRCam\\_image](https://esa.int/ESA_Multimedia/Images/2025/02/HH_30_MIRI_NIRCam_image)
3. [arxiv.org/html/2412.07523v2](https://arxiv.org/html/2412.07523v2)

вания Вселенной. В их химическом составе очень мало элементов тяжелее водорода и гелия. Считается, что эти так называемые звезды с низким содержанием металлов теряют меньше массы за время своей жизни, и, следовательно, у них остается больше материала для образования черных дыр большой массы после их смерти. Однако до сих пор не было прямых доказательств, связывающих бедные металлами звезды с черными дырами большой массы.

Дальнейшие наблюдения этой системы могли бы рассказать больше о ее истории и о самой черной дыре. Например, прибор GRAVITY на интерферометре VLT ESO способен помочь астрономам выяснить, как черная дыра взаимодействует с материей из своего окружения, что даст нам возможность лучше понять эволюцию этих интереснейших объектов.

1. [aanda.org/articles/aa/full\\_html/2024/06/aa49763-24/aa49763-24.html](https://aanda.org/articles/aa/full_html/2024/06/aa49763-24/aa49763-24.html)

## НА ПЕРЕДНЕМ КРАЕ

► Адекватный инструмент в данном случае — космический интерферометр: несколько телескопов класса «Хаббла», а также хаб, собирающий свет с телескопов. Все должно быть отъюстировано с точностью долей длины волны, так, чтобы звезда попала в интерференционный минимум. Соответствующая технология пока не разработана, финансирование существовавших проектов («Дарвин», TPF, SIM Lite) прекращено.

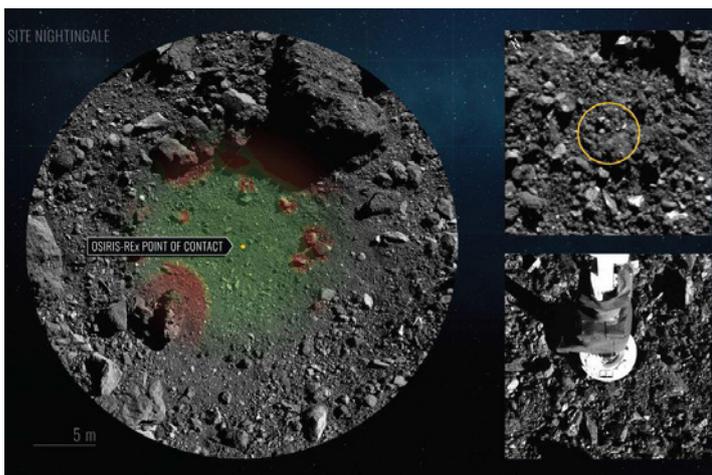
Еще существует амбициозный проект наблюдения экзопланет с использованием Солнца как гравитационной линзы<sup>4</sup>. Этот проект очень дорог и сложен, но по светосиле и разрешению превосходит то, что можно получить околоземными инструментами. Для его осуществления надо забросить телескопы более чем за 500 а. е. в точ-

<sup>4</sup> См. [www.trv-science.ru/2024/10/k-gravitacionnomu-telekopu-na-solnechnom-parufe/](https://www.trv-science.ru/2024/10/k-gravitacionnomu-telekopu-na-solnechnom-parufe/)

но определенное место. К сожалению, это будет одноразовая миссия — только для наблюдения единственной планетной системы. Поэтому предварительного надо найти и исследовать самую перспективную цель, для чего потребуются сначала гигантский наземный телескоп, затем космический интерферометр — этап, который нельзя обойти, если мы хотим найти сравнительно недалеко планету, пригодную для жизни, среди десятков планетных систем. ◆

## На образцах с астероида Бенну найдены 14 из 20 аминокислот – кирпичиков жизни

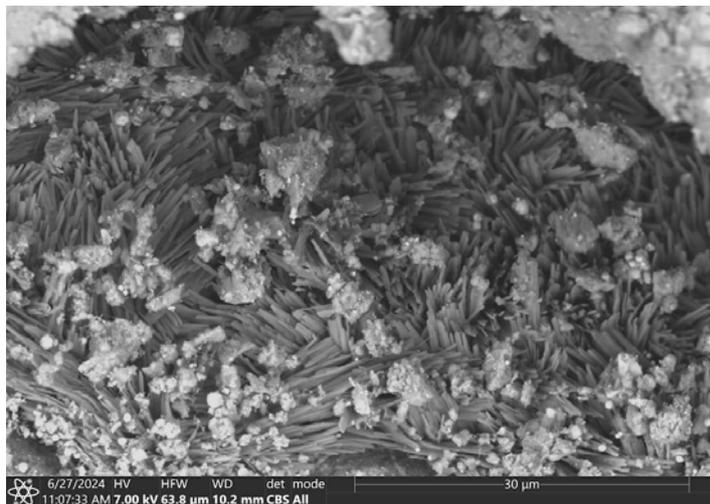
Образец астероидной пыли, доставленный на Землю миссией OSIRIS-REx NASA, содержит аминокислоты и нуклеотиды РНК и ДНК, а также растворы, которые могли способствовать образованию органических молекул, как показала сканирующая электронная микроскопия. 120 г материала были получены с околоземного астероида 101955 Бенну, который OSIRIS-REx посетил в 2020 году. Образец с Бенну был доставлен на Землю в 2023 году и распределен между группами исследователей. Теперь в двух новых статьях, опубликованных в *Nature* [4] и *Nature Astronomy* [5], представлены некоторые результаты этих групп.



В частности, исследователи обнаружили широкий спектр солевых минералов, в том числе фосфаты и карбонаты, содержащие натрий, которые образовались в соляных растворах, когда жидкая вода на родителем теле Бенну либо испарилась, либо замерзла. Жидкая вода присутствовала на Бенну на заре Солнечной системы, в первые несколько миллионов лет после начала формирования планет. Соединения, которые образовались из этой жидкой воды, весьма интересны с точки зрения органической химии. Например, в подобных растворах осаждаются фосфаты, которые могут служить матрицами для образования сахаров. Также подобные растворы могут высвобождать органические молекулы, образовавшиеся на минералах, где они могут соединяться с другими органическими молекулами, образуя более сложные соединения.

Исследование, опубликованное в *Nature Astronomy*, проведенное Дэном Глэвином и Джейсоном Дворкином из Центра космических полетов Годдарда NASA, было посвящено обнаружению 14 из 20 аминокислот, используемых в биологии для построения белков. Кроме того, в ходе анализа было обнаружено большое количество аммиака и формальдегида, которые могут объединяться с образованием более сложных молекул, включая аминокислоты.

Также при изучении образцов ученые хотели получить ответ на известный вопрос: почему жизнь предпочитает так называемые левые аминокислоты? Некоторые пары аминокислот могут выглядеть как

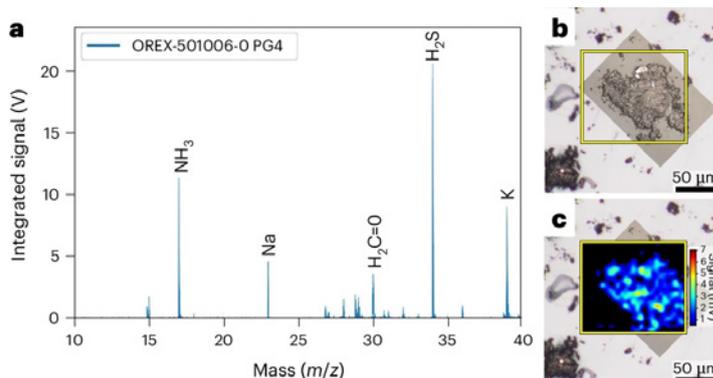


Изображение минералов содержащего воду и карбоната натрия в образцах с Бенну. Иглы образуют прожилку в окружающей породе, богатой глиной, а сверху на иглах лежат небольшие кусочки породы.

Изображение: Роб Уорделл, Тим Гудинг и Тим Маккой, Смитсоновский институт



Исследователи открывают контейнер с фрагментами астероида Бенну в сверхчистой лаборатории под защитой инертного газа, чтобы предотвратить загрязнение. Фото Роберта Марковица ([nature.com/articles/d41586-025-00264-3](https://www.nature.com/articles/d41586-025-00264-3))



зеркальные отражения друг друга – стереоизомеры, – но по какой-то загадочной причине жизнь предпочитает левовращающие аминокислоты правовращающим. Если бы космические образцы продемонстрировали более высокую концентрацию левовращающих аминокислот, это позволило бы предположить, что они, вероятно, более распространены во Вселенной и, следовательно, с большей вероятностью могут стать строительными блоками жизни. Однако образцы с Бенну содержат примерно равное количество обоих типов аминокислотных составов. Так что загадка хиральности пока не получила ответа.

4. [nature.com/articles/s41586-024-08495-6](https://www.nature.com/articles/s41586-024-08495-6)

5. [nature.com/articles/s41550-024-02472-9](https://www.nature.com/articles/s41550-024-02472-9)

## ▶ Рождение планет у двойных и тройных звезд

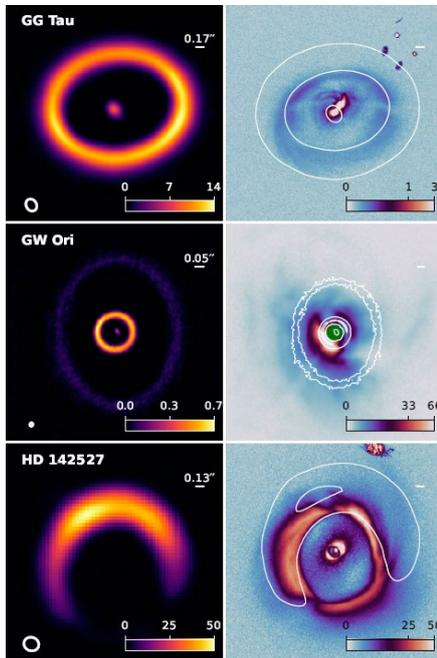
В созвездии Тельца, на расстоянии около 450 световых лет от Земли, находится звездная система GG Tauri. Эта система состоит из пяти звезд, объединенных в две гравитационные группы: тройную и двойную. Однако уникальность ее заключается не только в количестве звезд, но и в том, что она находится еще на стадии формирования, вокруг звезд видны протопланетные диски — облака пыли, которая со временем слипнется в полноценные планеты.

В молодых многозвездных системах может происходить разное распределение протопланетного материала — либо каждый компонент имеет свой отдельный диск, либо существует общий для всей системы диск. Иногда встречаются оба варианта сразу. GG Tauri представляет собой особенно сложную структуру: одна из звезд обладает собственным небольшим диском, вокруг тройной системы также заметен общий диск, а кроме того вся система окружена огромным газопылевым кольцом.

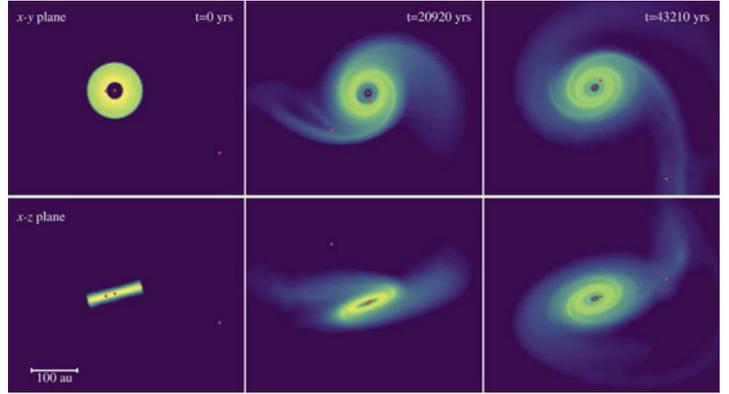
Эти и другие подобные примеры были описаны астрономами в недавней статье, размещенной на сервере препринтов arXiv.org [6]. Исследователи отметили, что гравитация соседних звезд, скорее всего, препятствует образованию больших дисков вокруг отдельных компонентов системы, следовательно, и формирующиеся планеты будут относительно небольшими. Тем не менее общий диск, окружающий всю систему, располагается достаточно далеко от звезд.

Астрономы предполагают, что материал может перемещаться между разными дисками. Более того, в этих облаках материи возникают волны плотности, аналогичные тем, благодаря которым галактики формируют свои спиральные рукава.

Такое явление наблюдается, например, в системе HD 100453 в созвездии Центавра, находящейся на расстоянии 350 световых лет от нас. Это двойная звезда, где у одной из компаньонов уже сформировалась планета, масса которой превышает



Примеры множественных звездных систем с протопланетными дисками



Компьютерное моделирование видоизменения протопланетного диска системы HD 100453 с течением времени

массу Юпитера в пять раз, а вокруг всех трех объектов простирается диск с расходящимися рукавами. Моделирование показало, что вещество в этой системе ведет себя подобно мини-галактике. Также компьютерные симуляции показали, что в тройных системах взаимодействие протопланетных дисков создает сложные структуры, напоминающие столкновения галактик.

Иногда звезды в таких системах движутся в различных плоскостях, и их протопланетные диски оказываются значительно смещенными друг относительно друга. Примером такой системы является GW Ori в созвездии Ориона, расположенная приблизительно в 1300 световых годах от нас. Согласно расчетам ученых, планеты в этой системе могут образовываться на необычных орбитах — сильно вытянутых, наклоненных или даже обращающихся в противоположном направлении к вращению звезд.

Исследования поведения газа и пыли в протопланетных дисках показывают, что тяжелые частицы в «индивидуальных облаках» чаще оседают на звездах, поэтому вероятность образования каменных планет там ниже, но в окружающих всю систему кольцах как раз возможно формирование мира с твердой поверхностью.

6. [arxiv.org/abs/2501.19249](https://arxiv.org/abs/2501.19249)

## ▶ Мишень размером с галактику

Ученые из NASA и Обсерватории Кека [7] обнаружили уникальный космический объект размером с галактику, который назвали Мишень из-за ее характерного вида. В принципе, она и оказалась галактикой, обозначение которой тоже вполне «поэтическое» — LEDA 1313424. Впрочем, очередность событий могла быть иной. Сначала нашли галактику, потом определились с названием.

Первоначально, исследуя эту галактику с помощью телескопа «Хаббл», ученые смогли насчитать восемь колец. Это значительное достижение, учитывая, что предыдущая рекордсменка обладала лишь тремя кольцами. Однако благодаря дополнительным данным, собранным Обсерваторией Кека, выяснилось, что колец на самом деле девять. Астрономы предполагают, что у рекордной галактики было и десятое кольцо, но к моменту обнаружения оно успело потускнеть.

Предполагается, что десятое кольцо находилось примерно в три раза дальше, чем самое крупное из колец LEDA 1313424 на снимке, сделанном телескопом «Хаббл».

Насколько велика Мишень? Диаметр нашей галактики Млечный Путь составляет около 100 тыс. световых лет, а Мишень почти в два с половиной раза больше — 250 тыс. световых лет в поперечнике.

Также в результате изучения снимков ученые получили представление о том, как галактика LEDA 1313424 приобрела свои кольца. Исследователи считают, что Мишень столкнулась с другой галактикой около 50 млн лет назад. Это столкновение вызвало волнообразное движение газа, пыли и звезд, подобно тому, как камень, брошенный в воду, создает круги на поверхности. Такой процесс сформировал концентрические кольца из новообразовавшихся звезд. Тонкий газовый след теперь соединяет две галактики, хотя в настоящее время они находятся на расстоянии 130 тыс. световых лет друг от друга.

Подобные наблюдения помогают лучше понять взаимодействие галактик и процессы формирования звезд. В будущем ученые ожидают увидеть еще больше всего такого благодаря космическому телескопу «Нэнси Грейс Роман», который должен заработать в 2027 году.

7. [science.nasa.gov/missions/hubble/hubble-investigates-galaxy-with-nine-rings/](https://science.nasa.gov/missions/hubble/hubble-investigates-galaxy-with-nine-rings/)



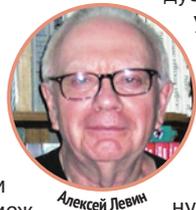
Галактика LEDA 1313424, Мишень. За галактикой видна голубая карликовая галактика, расположенная немного слева от центра. NASA, ESA, Имад Паша (Иельский университет), Питер ван Доккум (Иельский университет)

# Год великого перелома II: раскрытие Вселенной (окончание)

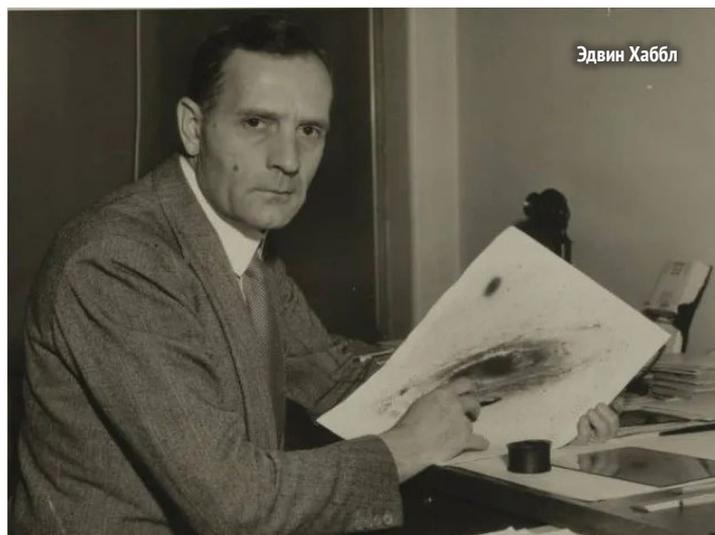
Продолжаем публикацию очерка **Алексея Левина** о революции в астрономии, произошедшей сто лет назад. Начало<sup>1</sup> в предыдущем номере.

## Скорости и расстояния

Вторая половина 1920-х годов стала для Хаббла временем полного академического признания и в национальном, и в международном масштабе. В 38 лет он был избран в Национальную академию наук США, став самым молодым академиком за всю историю этого почтенного учреждения. В июле 1928 года Хаббл председательствовал на очередном заседании Комиссии по туманностям и звездным скоплениям, которое состоялось в нидерландском Лейдене. В том же году британское Королевское астрономическое общество оказало ему немалую честь, сделав своим иностранным членом. В обсерватории у него появился замечательный помощник Милтон Хьюмасон, который, несмотря на отсутствие даже школьного аттестата, вырос из уборщика до наблюдателя, постепенно приобрел большой опыт в астропhotографии и дешифровке спектрограмм и в течение многих лет очень плодотворно работал вместе с Хабблом. (См. эссе Виалиа Мацарского о Хьюмасоне в ТрВ-Наука<sup>2</sup>. — Ред.)



Алексей Левин



Эдвин Хаббл

Хаббл с женой отправились в новое (на сей раз пятимесячное) путешествие по Европе в начале 1928 года. Перед этим была закончена работа над короткой статьей, где появилась предварительная формулировка космологического закона, носящего теперь его имя.

Перед тем, как обратиться к этой теме, надо сказать еще несколько слов о Весто Слайфере, чей доклад в 1914 году услышал Хаббл. Напомню, что Слайфер работал в обсерватории во Флагстаффе в штате Аризона, которую на собственные средства построил бизнесмен, математик и астроном Персиваль Лоуэлл. Там имелся действующий и поныне 24-дюймовый телескоп с хорошим спектрографом, на котором Слайфер с 1912 года изучал излучение спиральных туманностей. Для получения качественного снимка одну и ту же фотопластику экспонировали по несколько ночей, поэтому проект двигался медленно. К тому же Слайфер тщательно проверял свои результаты и не стремился быстро их публиковать.

В 1915 году он наконец решил, что пора представить свои выводы в печатной форме, но почему-то для начала выбрал журнал *Popular Astronomy*. Два года спустя он написал свою самую знаменитую ста-

тью «Спектрографическое исследование спиральных туманностей»<sup>3</sup>, однако почему-то послал ее отнюдь не в самый читаемый астрономами журнал. Там были приведены величины радиальных скоростей 25 туманностей, которые показывали значительную асимметрию направлений их движения. У четырех туманностей спектральные линии смещены в сторону синей зоны спектра видимого света, у всех прочих — в сторону его красной границы. Из принципа Доплера следует, что эта четверка приближается к Земле, а все остальные уходят прочь, иногда очень быстро.

Слайфер не стремился к славе и не пропагандировал свои результаты. Они получили широкую известность в международных астрономических кругах, когда на них обратил внимание титан британской астрофизики Артур Эддингтон. Он включил в свою книгу «The Mathematical Theory of Relativity» таблицу радиальных скоростей 41 туманности, подготовленную по его просьбе Слайфером в феврале 1922 года. В этой таблице, куда вошли последние, еще не опубликованные результаты аризонского астронома, присутствует всё та же четверка туманностей с синим смещением, в то время как у всех прочих спектральные линии сдвинуты в красную сторону. Их радиальные скорости варьируют в пределах 150–1800 км/с и в среднем в 25 раз превышали известные к тому времени скорости звезд Млечного Пути. Это само по себе наводило на мысль, что туманности участвуют в иных движениях, нежели «классические» светила.

К концу первой половины 1920-х годов слайферовская программа измерения радиальных скоростей туманностей пришла к естественному завершению. Близкие к Земле объекты Слайфер уже отработал, а для удаленных и, следовательно, менее ярких его 24-дюймовый телескоп был слабват. Требовался инструмент посильнее — в идеале, самый мощный в мире телескоп имени Хукера. Хаббл это прекрасно понимал, потому и решил взять на себя слайферовскую миссию. Не нужно думать, что он с самого начала пытался обнаружить расширение Вселенной. У него была другая цель — куда более скромная. Однако же случилось так, что именно она через несколько лет привела к открытию закона Хаббла.

Всё началось с чисто технической проблемы, которая сама по себе не имела фундаментального характера. В 1910-х годах несколько астрономов пытались проследить движение Солнца внутри нашей галактики, используя в качестве опорных точек близлежащие туманности. Сотрудник Кильской обсерватории Карл-Вильгельм Вирц в 1918 году показал, что для этого необходимо делать поправку на радиальные движения туманностей с красным смещением спектральных линий, чьи скорости уже были измерены Слайфером. Для этого он предложил простейший способ — уменьшать видимые скорости туманностей на постоянную величину, которую предстояло найти с помощью статистических методов. По-немецки «постоянная» — Konstante, поэтому Вирц назвал свою коррекционную поправку *K*-членом. Надо отметить, что этот способ применялся и раньше для выявления движения Солнца относительно голубых звезд. В начале 1920-х годов Вирц и Лундмарк пришли к выводу, что по порядку величины *K*-член равен 800 км/с.

Вирц пошел и дальше. Он (правда, без особой уверенности) интерпретировал *K*-член как меру постоянного удаления туманностей от Солнца. Он даже допустил, что его численная величина может зависеть от расстояния до туманности — следовательно, не быть константой. В 1925 году Лундмарк представил корреляционную поправку как сумму базовой константы и еще двух добавок, из которых одна пропорциональна дистанции до туманности, а вторая — квадрату этой дистанции. Опять-таки используя данные Слайфера, он пришел к выводу, что  $K = 513$  км/с.

А потом в работу включился Хаббл. В его распоряжении уже были не только результаты Слайфера, но и оценки расстояний до 24 туманностей, причем найденные разными способами. Дистанции до семи ближайших туманностей, которые не превышали 500 кпк, он нашел с помощью цефеид. Еще 13 туманностей были откалиброваны по удалению от Земли на основе предположения, что абсолютные величины самых ярких звезд в их составе группируются вблизи значения  $-6,3$ . Расстояния до четырех самых далеких туманностей из скопления Девы он прикинул на основе данных о средних светимостях членов этого скопления. С помощью собранных сведений построил график, поместив на горизонтальной оси дистанции до туманностей, а на вертикальной — их радиальные скорости. ▶

<sup>3</sup> Slipher V.M. A spectrographic investigation of spiral nebulae // *Proceedings of the American Philosophical Society*, 56, 403–409 (1917).

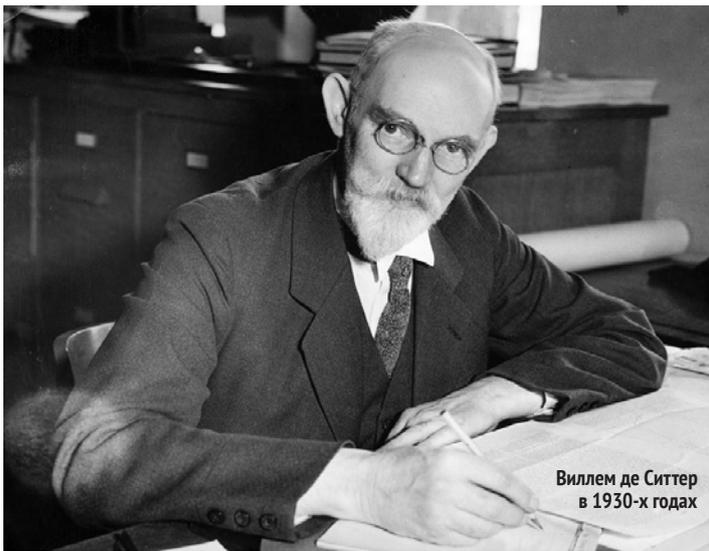
<sup>1</sup> [www.trv-science.ru/2025/01/god-velikogo-pereloma-2-raskrytie-vselennoj/](http://www.trv-science.ru/2025/01/god-velikogo-pereloma-2-raskrytie-vselennoj/)

<sup>2</sup> Мацарский В. Звездный ковбой с Маунт-Вилсон // *ТрВ-Наука* № 217 от 15 ноября 2016 года. [www.trv-science.ru/2016/11/zvezdnyj-cowboy-s-mount-wilson/](http://www.trv-science.ru/2016/11/zvezdnyj-cowboy-s-mount-wilson/)

► Оказалось, что точки на графике лежат вблизи прямой линии, выражающей линейную зависимость между расстояниями в миллионах парсек и скоростями в километрах в секунду. Отсюда следовало, что введенный Вирцем  $K$ -член — это произведение некоей константы на расстояние, выраженное в мегапарсеках. Хаббл оценил этот коэффициент в 500 км/Мпк. Следуя примеру Вирца, он тоже обозначил его буквой  $K$ .

Хаббл представил свои выводы в статье, написанной где-то в конце 1927 года. Он продержал ее без движения больше года, надеясь собрать побольше данных наблюдений в поддержку сделанных выводов. В середине января 1929 года он всё же послал ее в печать, где она и появилась 15 марта<sup>4</sup>. Хаббл также сделал сообщение о своих результатах на заседании Национальной академии наук. В мае он написал Шепли, что откладывал бы публикацию и дальше, если бы не опасался, что его кто-то опередит. В свое время у него уже случился спор с Лундмарком из-за приоритета в классификации туманностей, и он не хотел повторения.

Строго говоря, в этой первой статье закона Хаббла как такового еще не было. Там написана корреляционная формула для радиальных скоростей удаляющихся туманностей, куда среди других слагаемых входит выражение  $K \cdot r$ , где  $r$  — расстояние до туманности. Формула иллюстрируется графиком, о котором я уже писал. Согласно Хабблу, «эти результаты устанавливают приблизительно линейное отношение между скоростями и дистанциями среди тех туманностей, чьи скорости уже были обнаружены, и это отношение, судя по всему, в основном определяет распределение скоростей». Это еще далеко не тот закон Хаббла, который приводится в учебниках. Хаббл особо отметил, что для проверки его выводов понадобятся дополнительные наблюдения, к которым уже приступил «мистер Хьюмасон» в Обсерватории Маунт-Вилсон. Поэтому он счел «преждевременным обсуждать в деталях очевидные следствия представленных результатов».



Виллем де Ситтер  
в 1930-х годах

Хотя Хаббл и не предложил никакой физической интерпретации своих выводов, он в последнем абзаце намекнул, что найденная связь между дистанциями и скоростями может быть проявлением так называемого эффекта де Ситтера. Речь идет о красном смещении спектральных линий, которое возникает в весьма экзотическом решении уравнений ОТО, опубликованном в 1917 году профессором астрономии Лейденского университета Виллемом де Ситтером. Догадка Хаббла не случайна, этот космологический эффект тогда в немалой степени интересовал астрономов. Сам Хаббл в 1928 году посетил Лейден и с большим интересом пообщался с де Ситтером. Отсюда видно, что Хаббл был не только гениальным астрономом-наблюдателем, но и не чуждался новомодных космологических моделей.

В явном виде закон Хаббла впервые сформулирован в его большой совместной статье<sup>5</sup> с Хьюмасоном, которая увидела свет в июле 1931 года. Она состоит из двух частей. В первой части детально рас-

смотрены различные методы определения расстояний до туманностей, а вторая посвящена отношению между этими расстояниями и радиальными скоростями. Там представлены заново измеренные скорости 14 различных туманностей и еще 26 туманностей, принадлежащих различным скоплениям. Приведенная информация суммирована в однозначном заключении: радиальные скорости туманностей возрастают приблизительно на 558 км/с с каждым увеличением расстояния на миллион парсек (изменение коэффициента  $K$  с 500 до 558 км/с/Мпк стало следствием новой калибровки световых кривых цефеид, которую в 1930 году выполнил Шепли). При этом авторы предупреждают, что имеют в виду видимые скорости удаления туманностей от Земли как они определяются на основе формулы Доплера. Хаббл и Хьюмасон совершенно сознательно воздержались от выдвижения гипотез о физическом смысле этих скоростей. Надо отметить, что такого подхода Хаббл придерживался и в последующие годы.

Весной 1934 года Хаббл посетил Лондон и 8 мая прочел в Королевском астрономическом обществе блестящую лекцию “Red-Shifts in the Spectra of Nebulae”. В ней он сформулировал «Принцип Единообразия Природы» (Principle of the Uniformity of Nature), который утверждает, что любые случайно выбранные области Вселенной одинакового масштаба обладают одинаковыми общими свойствами. Из такой гипотезы (а это была именно гипотеза!) следует, что выводы о свойствах Вселенной, полученные с помощью наблюдений уже изученной группы туманностей, можно распространить на весь Большой Космос. Хаббл также подчеркнул, что единственное разумное объяснение обнаруженных красных смещений спектров туманностей состоит в том, что они удаляются от земных наблюдателей. Однако он, как и раньше, не выдвинул предположений о физических причинах их разбегания. В частности, оставил без комментариев уже имевшиеся к тому времени космологические модели, которые объясняли увеличение дистанций до туманностей расширением Вселенной, не упомянул и о модели бельгийского космолога Жоржа-Анри Леметра, с которой ознакомился в 1930 году, прочитав полупопулярную статью Эддингтона с ее изложением. В общем, в отношении причин разбегания туманностей Хаббл явно придерживался знаменитой максимы Ньютона из третьего издания «Математических начал натуральной философии»: *Hypotheses non fingo*. Разумеется, сегодня мы знаем (или думаем, что знаем), что наблюдаемый разлет галактик вызван расширением пространства Вселенной, которое вытекает из определенных решений уравнений общей теории относительности. Однако эта интерпретация стала общепринятой лишь во второй половине XX века, после появления и подтверждения теории Большого взрыва.

## Осень патриарха

Хаббл продолжал писать о туманностях вплоть до начала 1940-х годов — один или в соавторстве. Он не раз уточнял численное значение коэффициента пропорциональности между дистанциями и скоростями, которое, однако, не выходило из диапазона 500–550 км/с/Мпк. Все эти оценки завышены в 7–8 раз по сравнению с сегодняшними значениями, которые лежат в интервале 67–75 км/с/Мпк. Уже несколько десятилетий сужить его не удается, поскольку разные методы оценки дают неодинаковые результаты. Эти неувязки, которые принято называть the Hubble tension (или the Hubble constant tension), серьезно осложняют жизнь космологам, но устранить их пока не удастся. Первым астрономом, получившим близкое к современному значению, был Аллан Сэндидж, но это случилось уже после смерти Хаббла. Результат Сэндиджа, обнародованный в 1958 году, составил 75 км/с/Мпк.

Вряд ли надо напоминать, что коэффициент пропорциональности между скоростью и расстоянием, о котором идет речь, давно не обозначают буквой  $K$ . Как известно, его называют параметром Хаббла и обозначают первой буквой его фамилии  $H$ . Современное значение этого параметра, которое как раз и измеряют астрономы, обозначается  $H_0$ . Так что сейчас закон Хаббла записывается посредством простой алгебраической формулы:  $V = H_0 \cdot d$ , где  $V$  — радиальная скорость объекта, а  $d$  — расстояние.

Хаббл в 1930-е годы занимался и другими проблемами, прежде всего вращением и светимостью спиральных галактик. Кроме того, в 1936 году он выпустил популярную книгу “The Realm of the Nebulae”, основанную на серии лекций, прочитанных годом ранее в Йельском университете. Там он подробно рассказал о своих исследованиях туманностей начиная с 1922 года и, конечно, о связи между ►

<sup>4</sup> Hubble E.P. A Relation Between Distance and Radial Velocity Among Extra-Galactic Nebulae // Proceedings of the National Academy of Sciences, 15, 168-173 (1929).

<sup>5</sup> Hubble E. and Humason M. L. The Velocity-Distance Relation Among Extra-Galactic Nebulae // Astrophysical Journal, 74, 43-80 (1931).



КРНО/НОРЛЕ/АВ/АС/АИРА

Галактика Треугольник — Хаббл внес большой вклад в ее изучение

► их скоростями и дистанциями. Эта монография имела большой успех и у специалистов, и у массовой аудитории (конечно, достаточной подготовленной).

Летом 1942 года Хаббл занялся военной наукой. Он пересек всю страну и прибыл на Абердинский испытательный полигон в штате Мэриленд. Там он присоединился к группе специалистов, занятых разработкой и испытанием прицелов для точного бомбометания. До ноября он числился консультантом, а потом был назначен главным баллистиком. Ему положили 8000 долл. в год, что в то время составляло максимальный оклад для гражданских федеральных служащих, работающих вне Вашингтона. 3 декабря 1945 года, уже после капитуляции не только Германии, но и Японии, он покинул Абердин и сразу вернулся в Пасадину.

С 1947 года Хаббл опубликовал еще несколько статей по астрономии — в основном посвященных перспективам наблюдений на 200-дюймовом рефлекторе Обсерватории Маунт-Паломар. Он также стал читать лекции об опасности военного применения ядерного оружия, которое осознал после бомбардировки Хиросимы и Нагасаки. Этим он сильно удивил знакомых, поскольку в политике всегда был ультраконсерватором республиканского толка. С такими взглядами он мог бы после войны стать проповедником американской ядерной мощи — но этого не случилось. Люди меняются.

В 1949 году Хабблу исполнилось 60 лет. Летом того же года у него случился приступ стенокардии, который сопровождался сильными болями. Выздоровление оказалось довольно долгим. В свой кабинет в обсерватории Хаббл вернулся только в октябре, а начать работу на новом телескопе имени Хейла ему разрешили лишь годом позже. В тот раз продолжительность его наблюдений ограничилась тремя ночами, а результат — 18 фотопластинками. Длительная работа на горных вершинах холодными ночами была уже не для Хаббла.

К началу 1953 года врачи сочли Хаббла настолько окрепшим, что разрешили отправиться за океан. В апреле Эдвин и Грейс пересекли Атлантику на лайнере «Мавритания». Супруги побывали в Англии, где Хаббл прочел в Королевском астрономическом обществе очень престижную лекцию имени Джорджа Дарвина, а потом отправились в Париж. В начале июня Хаббл изложил перед членами Института Франции свои взгляды на связь науки с общечеловеческими ценностями. Это было его последнее публичное выступление.

20 августа супруги вернулись домой, а уже 1 сентября Хаббл отправился на гору Паломар для нового раунда работы с гигантским рефлектором. Он вновь получил три ночных сеанса и сделал 18 снимков. В поездке он хорошо отдохнул и загорел, и его личный врач был уверен, что здоровье пациента полностью восстановилось. Хаббл отлично себя чувствовал и с нетерпением ждал октябрьского раун-

да, рассчитанного уже на четыре ночи. Утро 28 сентября он провел в своем кабинете в городском кампусе обсерватории, а около полудня за ним заехала Грейс, чтобы отвезти домой на ланч. В машине ему стало плохо, и в тот же день он скончался в своей постели от ишемического инсульта.

Его останки были кремированы в близлежащей Монровии. Гроб в крематорий сопровождали только вдова и несколько друзей. Они же закрыли его пепел в свинцовом ящике и зарыли в землю. Место погребения так и осталось неизвестным. За много лет до смерти Хаббл признался жене, что хочет исчезнуть без шума — и она выполнила его волю. Грейс Хаббл пережила мужа на 27 лет, которые посвятила его памяти.

Как ни странно, Хаббл при жизни получил не так уж много почестей. В 1922 году Американская ассоциация в поддержку науки наградила его за изучение туманностей Кливлендовской премией (Newcomb Cleveland Prize). В 1937 году он получил медаль имени Кэтрин Брюс, а годом позже — Франклиновскую медаль. 1940 год принес ему золотую медаль Королевского астрономического общества, а в 1946 году он получил за работы по баллистике еще и военную награду, орден «Легион Почета». Ему не досталась Нобелевская премия, которой тогда ни разу не награждали астрономов. Энрико Ферми, Субрахманьян Чандрасекар и еще несколько членов Нобелевского комитета по физике пытались добиться для него награды не практиковавшегося посмертного награждения, но шведские академики решили не нарушать традицию. Величие Хаббла от этого не пострадало.

## Закон Хаббла и космологические модели

Когда Эдвин Хаббл закончил и временно убрал в стол статью с изложением первой версии своего закона, он не знал, что этот закон чуть раньше уже был предсказан на основе чистой теории. Это сделал его младший современник, бельгийский ученый и католический священник Жорж Анри Жозеф Эдуар Леметр, вся история жизни и трудов которого — не тема настоящей статьи. Но о математическом фундаменте хаббловского закона стоит поговорить.

Теоретическая космология началась в 1917 году двумя статьями, представленными первые модели Вселенной, построенные на основе ОТО. Одну из них написал сам Эйнштейн, другую — его друг Виллем де Ситтер. Обе работы содержали революционные идеи, которые и сегодня сохраняют актуальность.

Когда Эйнштейн обратился к космологии, он, в духе своего времени, считал, что наша Вселенная как целое статична, иначе говоря, не изменяется со временем. Поначалу он пытался сделать ее еще и бесконечной в пространстве, но не смог найти корректные граничные условия для своих уравнений (к слову, эта проблема была неразрешима и в ньютоновской картине космоса). В итоге Эйнштейн построил модель замкнутой вселенной, имеющей положительную кривизну и конечный радиус. Ее геометрия была описана еще великим немецким математиком Риманом, который назвал ее эллиптической. С нашей точки зрения она весьма необычна: там нет параллельных линий, сумма углов любого треугольника больше двух прямых углов, а длина любой окружности меньше  $2\pi r$ . Время в этой вселенной, напротив, течет по-ньютоновски, в одном направлении и с одинаковой скоростью. Так что пространство-время этой модели искривлено за счет пространственной компоненты, в то время как временная никак не деформирована.

Статичность эйнштейновского мира обеспечивает специальный «вкладыш» в основное уравнение ОТО, препятствующий гравитационному схлопыванию пространства и тем самым действующий как антигравитационное поле. Его величина пропорциональна введенному Эйнштейном постоянному коэффициенту, который создатель ОТО назвал просто универсальной константой. Сейчас ее именуют космологической постоянной и обычно обозначают заглавной греческой буквой  $\Lambda$ . Эйнштейн показал, что при определенном численном значении этой константы, которое очень просто выражается через постоянную тяготения, скорость света и среднюю плотность вещества, вселенная не будет ни схлопываться, ни расширяться. Именно его он и выбрал для своей модели.

Эйнштейновская модель оказалась очень сильной в том смысле, что позволила вычислить размер Вселенной, общее количество материи и численное значение космологической постоянной. Конечно, в нее надо ввести среднюю плотность вещества, которую, в принципе, можно определить из астрономических наблюдений. Однако ее губит не замеченная Эйнштейном неустойчивость, на которую ►

► в 1930 году впервые указал Артур Эддингтон. При малейшем отклонении радиуса от равновесного значения эйнштейновский мир либо безостановочно расширяется, либо претерпевает необратимый гравитационный коллапс. Поэтому к реальной Вселенной такая модель отношения не имеет.

Де Ситтер тоже построил статичный мир с постоянной кривизной — только не положительной, а отрицательной. Он описывается гиперболической геометрией, более известной как геометрия Лобачевского. В этом мире, в отличие от эллиптического, параллельные линии существуют, однако не выполняется пятый постулат Евклида — через любую точку вне данной прямой можно провести как минимум две прямые, которые ее не пересекают. Сумма углов треугольников в пространстве с гиперболической геометрией меньше двух прямых углов, а длина любой окружности превышает  $2\pi r$ .

В физическом плане модель де Ситтера на первый взгляд выглядит как решительная альтернатива нашей Вселенной. В ней присутствует эйнштейновская космологическая константа, но полностью отсутствует материя. Время на периферии вселенной де Ситтера течет медленней, нежели в ее центре. Такое замедление времени эквивалентно уменьшению частоты любых периодических процессов, в том числе и электромагнитных волн. Поскольку скорость такой волны в пустоте постоянна и равна произведению ее частоты на длину, длина волны увеличивается. Поэтому в мире де Ситтера с больших расстояний световые волны приходят с красным смещением, даже если их источник покоится относительно наблюдателя. В 1920-е годы Эддингтон и другие астрономы задавались вопросом, не имеет ли модель де Ситтера хотя бы что-то общее с реальностью, отраженной в наблюдениях Слайфера. Об этом задумывался и Хаббл, о чем уже говорилось.

В принципе, эти подозрения подтвердились, хоть и в неожиданном для Хаббла плане. Статичность вселенной де Ситтера оказалась мнимой, она была обусловлена всего лишь неудачным выбором координатной системы. В общей теории относительности можно свободно переходить от одной пространственно-временной системы отсчета к другой, лишь бы преобразование было достаточно гладким. В 1922 году венгерский математик Корнелиус Ланцош показал, что решение де Ситтера можно переписать в системе координат, в которой неискривленное время повсюду будет течь в постоянном темпе, как и в специальной теории относительности. Однако, поскольку бесплатных пирожных не бывает, в этой системе пространство де Ситтера оказалось нестатичным, чего сам Ланцош не заметил. Благодаря антигравитационной космологической константе оно расширяется с растущей скоростью. Как показали в 1923 году замечательный немецкий математик Герман Вейль и Артур Эддингтон, в мире де Ситтера любая пара пробных частиц с течением времени расходится в пространстве, причем дистанция между ними растет во времени по экспоненциальному закону. В физическом плане это как раз и означает расширение пространства, что, правда, стало ясно несколько позже. Оно приводит к увеличению всех длин, включая и длины световых волн. Это и влечет предсказанный де Ситтером сдвиг спектральных линий, который, разумеется, должен сохраняться и в решении Ланцоша. Вряд ли нужно напоминать, что именно так сегодня объясняют космологическое красное смещение далеких галактик.

## От статики к динамике

Решение де Ситтера описывает нестатичную вселенную, однако эта нестатичность, если угодно, завуалирована. История явно нестатичных космологических теорий начинается с двух работ нашего замечательного соотечественника Александра Фридмана, опубликованных в немецком журнале *Zeitschrift für Physik* в 1922 и 1924 годах. Фридман просчитал модели вселенных с переменной во времени кривизной, причем как положительной, так и отрицательной. Эти две работы стали золотым фондом математической космологии.

Как известно, нет пророков в своем отечестве — также и в своем времени. Современники почти не заметили статьи Фридмана, хотя он и опубликовал их в весьма престижном немецком журнале *Zeitschrift für Physik*, где, напомним, печатались и отцы-основатели квантовой механики. Эйнштейн сначала по собственной небрежности даже счел первую статью Фридмана математически ошибочной. Сам Фридман полагал, что астрономия еще не обладает арсеналом наблюдений, позволяющим решить, какая из космологических моделей более соответствует реальности. Поэтому он ограничился чистой математикой и не предложил астрономической интерпретации своих результатов. Различные сценарии эволюции Вселенной, описанные в его первой статье, зависят от численных значений двух параметров, которые вводятся чисто формально. Фрид-

ман их не интерпретировал в терминах измеримых физических величин и тем более ничего не писал ни о туманностях, ни о смещениях спектральных линий. Возможно, он действовал бы иначе, если бы знал результаты Слайфера, однако этого не случилось. Леонид Мартынов в посвященном Фридману стихотворении написал, что «увидел в кривизне пространства он галактик разбеганье», это очень красиво, но истине не соответствует. Впрочем, насколько я знаю, само выражение «расширяющаяся вселенная» впервые появилось все-таки у Фридмана.



Александр Фридман в августе 1916 года

Леонид Мартынов

## Петербургская баллада

Мир не до конца досоздан: небеса всегда в обновлениях, астрономы к старым звездам вечно добавляют новых. Если бы открыл звезду я, — я ее назвал бы: Фридман, — лучше средства не найду я сделать всё яснее видимым.

Фридман! До сих пор он житель лишь немногих книжных полок — математики любитель, молодой метеоролог и военный авиатор на германском фронте где-то, а позднее организатор Пермского университета на заре советской власти... Член Осоавиахима. Тиф схватив в Крыму, к несчастью, не вернулся он из Крыма. Умер. И о нем забыли. Только через четверть века вспомнили про человека, вроде как бы оценили:

— Молод, дерзновенья полон, мыслил он не безыдейно. Факт, что кое в чем пошел он дальше самого Эйнштейна: чужа форм непостоянство в этом мире-урагане, видел в кривизне пространства он галактик разбеганье.

— Расширение Вселенной? В этом надо разобраться! Начинают пререкаться...

Но ведь факт, и — несомненный: этот Фридман был ученым с будущим весьма завидным.

О, блесни над небосклоном новою звездю, Фридман!  
(1965)

По-другому мыслил и работал крупнейший космолог первой половины XX столетия Жорж Леметр. На родине он защитил магистерскую диссертацию по математике, а затем в середине 1920-х годов изучал астрономию — в Кембридже под руководством Эддингтона и в Гарвардской обсерватории у Харлоу Шепли. Во время пребывания в США, где он подготовил докторскую диссертацию в Массачусетском технологическом институте, Леметр познакомился со Слайфером и Хабблом. В 1925 году он вслед за Вейлем, но независимо от него показал, что модель де Ситтера только по видимости статична. По возвращении на родину в качестве профессора Лувенского университета Леметр построил первую модель расширяющейся Вселенной, снабженную четким астрономическим обоснованием. Без преувеличения, эта работа стала революционным прорывом в науке о космосе. Леметр чисто теоретически показал, что радиальные скорости далеких галактик по отношению к Земле должны быть пропорциональны их удаленности от нашей планеты. Это именно то соотношение, которое мы называем законом Хаббла. ►

Теперь напомним, что первая статья Хаббла с графиком линейной зависимости между галактическими скоростями и дистанциями была опубликована в начале 1929 года. Годом ранее молодой американский математик (а в будущем высокопоставленный сотрудник Пентагона и ЦРУ) Говард Перси Робертсон независимо от Леметра вывел эту зависимость из модели расширяющейся вселенной, о чем Хаббл, возможно, знал. Однако в его знаменитой статье эта модель, как и модель Леметра, не упоминалась (как, впрочем, и результаты Слайфера, на которые Хаббл впервые сослался только в монографии *The Realm of the Nebulae*). Напомним также, что Хаббл всегда воздерживался от физической интерпретации своего открытия. Поэтому при всем уважении к Хабблу посчитать его первооткрывателем космологического расширения Вселенной нет никаких оснований. Не случайно 26 октября 2018 года члены Международного астрономического союза в ходе электронного голосования одобрили переименование закона Хаббла в закон Хаббла — Леметра (78% голосов «за», 20% «против», 2% воздержались). В дальнейшем я всё же буду пользоваться старым названием — просто ради исторической согласованности.

### Укрепление хаббловской пропорции

Именно Хаббл подготовил почву для признания как расширения Вселенной, так и модели Леметра. Повторю еще раз: до его доказательства множественности галактик космология не могла выйти за пределы чисто математических упражнений. А после него она смогла пойти в рост. Уже в 1930 году концепции динамической Вселенной воздали должное такие мэтры, как Эддингтон и де Ситтер; одновременно или немногим позже ученые заметили и по достоинству оценили работы Фридмана. В 1931 году с подачи Эддингтона Леметр перевел на английский свою статью (с небольшими купюрами) для *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Тогда же Эйнштейн согласился с выводами Леметра, а годом позже совместно с де Ситтером и сам построил модель расширяющейся Вселенной с плоским пространством и искривленным временем. Эта модель из-за своей простоты долгое время была очень популярна среди космологов.

В том же 1931 году Леметр опубликовал краткое (и без всякой математики) описание еще одной модели Вселенной, объединявшей в себе космологию и квантовую механику. В этой модели начальным моментом служит взрыв первичного атома (Леметр также называл его квантом), породивший и пространство, и время. Поскольку тяготение тормозит расширение новорожденной Вселенной, его скорость со временем уменьшается — не исключено, что почти до нуля. Позднее Леметр ввел в свою модель космологическую постоянную, заставившую Вселенную со временем перейти в устойчивый режим ускоряющегося расширения. Так что он предвосхитил не только теорию рождения Вселенной в результате Большого взрыва, которую в конце 1940-х годов развили в США Георгий Гамов, Ральф Алфер и Роберт Герман, но даже современные космологические модели, учитывающие присутствие темной энергии. А в 1933 году он отбросил космологическую постоянную с плотностью энергии вакуума, что было поистине гениальным прозрением. Просто удивительно, насколько этот ученый опередил свое время. То же самое можно сказать и о Фридмане, который описал несколько сценариев эволюции Вселенной, включая и модель с первичной сингулярностью. Но при этом необходимо вновь подчеркнуть, что Фридман рассуждал прежде всего как математик, а Леметр — как астрофизик и космолог.

Первооткрывателями Нептуна заслуженно считают Урбена Леверье и Джона Адамса, теоретически доказавших существование этой планеты и указавших ее место на небосводе. В соответствии с этой логикой титул первооткрывателя расширения Вселенной должен принадлежать Леметру, который вычислил его на основе ОТО и объяснил, как найти экспериментальное подтверждение своей теории. Сложилось так, что впервые такие наблюдения по собственной инициативе произвели Хаббл и Хьюмассон. Современники признали их результаты и тем самым приняли концепцию расширяющейся Все-

ленной. В общем, эта история еще раз подтвердила, что нет ничего практичнее хорошей теории.

В заключение этой вставки добавлю еще два раздела с чуть более техническими сведениями. В принципе, читать их не обязательно, однако, надеюсь, не бесполезно.

### Законы Хаббла

Эдвин Хаббл эмпирически выявил примерную пропорциональность красных смещений и галактических дистанций, которую он с помощью формулы Доплера (если быть совсем точным, Доплера — Физо) превратил в пропорциональность между скоростями и расстояниями. Так что мы имеем здесь дело с двумя **различными** закономерностями. Хаббл не знал, как они связаны друг с другом, но что об этом говорит сегодняшняя наука?

Вкратце ситуация такова. Как показал еще Леметр, линейная корреляция между космологическими (вызванными расширением Вселенной) красными смещениями и дистанциями отнюдь не абсолютна. На практике она хорошо соблюдается лишь для смещений меньше 0,1. Так что эмпирический закон Хаббла не точный, а приближенный, да и формула Доплера — Физо справедлива только для небольших смещений спектра.

А вот теоретический закон  $V = H \cdot d$  справедлив для любых красных смещений. Однако фигурирующая в нем скорость  $V$  — вовсе не скорость физических сигналов или реальных тел в физическом пространстве. Это скорость возрастания дистанций между галактиками и галактическими скоплениями, которая обусловлена расширением Вселенной. Мы бы ее могли изменить, если бы были в состоянии раз за разом останавливать расширение Вселенной, мгновенно протягивать мерные ленты между галактиками, считывать расстояния между ними и делить их на промежутки времени между измерениями. Естественно, законы физики этого не позволяют. Поэтому космологи предпочитают использовать параметр Хаббла  $H$  в другой формуле, где фигурирует так называемый масштабный фактор Вселенной, который как раз и описывает степень ее расширения в различные космические эпохи. Для нашей эпохи он по определению равен единице, для предшествующих времен дается правильной дробью. Параметр Хаббла равен отношению производной масштабного фактора по времени к самому фактору.

Космологическое красное смещение обозначают буквой  $z$ . Свет галактики, пришедший к нам с таким смещением, покинул ее, когда все космологические дистанции были в  $1+z$  раз меньше, нежели в нашу эпоху; отсюда следует, что масштабный фактор равен  $1/(1+z)$ . Получить об этой галактике дополнительные сведения, такие, как ее нынешняя дистанция или скорость удаления от Млечного Пути, можно лишь с помощью конкретной космологической модели. Предположим, что Вселенная эволюционирует в соответствии с моделью Эйнштейна — де Ситтера. Нетрудно посчитать, что галактика с  $z = 5$  удаляется от нас со скоростью, равной 1,1 скорости света. А вот если сделать распространенную ошибку и просто уравнивать  $V/c$  и  $z$ , то эта скорость окажется впятеро больше световой. Расхождение, как видим, нешуточное.

### Пояснение для любознательных

В космологических вычислениях удобно пользоваться сопутствующими координатными системами, которые растягиваются в унисон с расширением Вселенной. В идеализированной модели космоса, где галактики и галактические кластеры не участвуют ни в каких собственных движениях, их сопутствующие координаты не меняются. А вот дистанция между двумя объектами в данный момент времени равна их дистанции в сопутствующих координатах, умноженной на величину масштабного фактора для этого момента. Такую ситуацию легко проиллюстрировать на надувном глобусе: широта и долгота каждой точки не меняются, а расстояние между любой парой точек увеличивается с ростом радиуса.

Использование сопутствующих координат помогает осознать глубокие различия между космологией расширяющейся Вселенной, ►



Жорж Леметр. 1920-е годы

► специальной теорией относительности и ньютоновской физикой. Так, в ньютоновской механике все движения относительны, и абсолютная неподвижность не имеет физического смысла. Напротив, в космологии неподвижность в сопутствующих координатах абсолютна и в принципе может быть подтверждена наблюдениями. Специальная теория относительности описывает процессы в пространстве-времени, из которого можно с помощью преобразований Лоренца бесконечным числом способов вычленивать пространственные и временные компоненты. Космологическое пространство-время, напротив, естественно распадается на искривленное расширяющееся пространство и единое неискривленное космическое время. И, наконец, скорость разбегания далеких галактик может многократно превышать скорость света, что вовсе не противоречит специальной теории относительности.

В сопутствующих координатах очень удобно записывать метрику пространства-времени, которая определяет его геометрию. Если предположить, что космологическое время линейно, а пространство однородно и изотропно, то окажется, что в этих координатах метрика имеет универсальную алгебраическую форму, как независимо доказал в 1935 году Робертсон и годом позже английский математик Артур Джеффри Уолкер. Эта форма задается двумя параметрами. Один из них — это постоянная кривизна пространства, которая может быть положительной, отрицательной или — в случае евклидова пространства — нулевой (можно выбрать такую систему единиц, в которой положительная кривизна окажется равной 1, а отрицательная — минус 1). Второй параметр — это численный коэффициент, определяющий изменение масштабов длины в нестабильной Вселенной. Этот коэффициент, который, напомним, принято называть масштабным фактором, изменяется во времени и тем описывает динамику Вселенной. Он находится из конкретных решений дифференциальных уравнений Фридмана — Леметра, которые зависят от давления и плотности различных форм энергии. Для современной эпохи масштабный фактор принято считать равным единице. Поскольку с момента Большого взрыва наша Вселенная расширяется (во всяком случае, это утверждает ее стандартная модель), в прошлые эпохи масштабный фактор всегда был меньше единицы и вблизи Большого взрыва приближался к нулю.

Наконец, хотя это и не относится к основной теме, стоит отметить, что Вселенная перешла от замедляющегося расширения к ускоренному, когда плотность вакуумной энергии превысила половину плотности материи (то есть барионного и темного вещества). Это не слишком согласуется с интуицией (на первый взгляд, естественней считать, что переход произойдет, когда эти плотности сравняются), но так уж велят уравнения Фридмана — Леметра. Согласно «показаниям» космической обсерватории «Планк», это случилось приблизительно 5 млрд лет назад, когда величина красного смещения составляла 0,64.

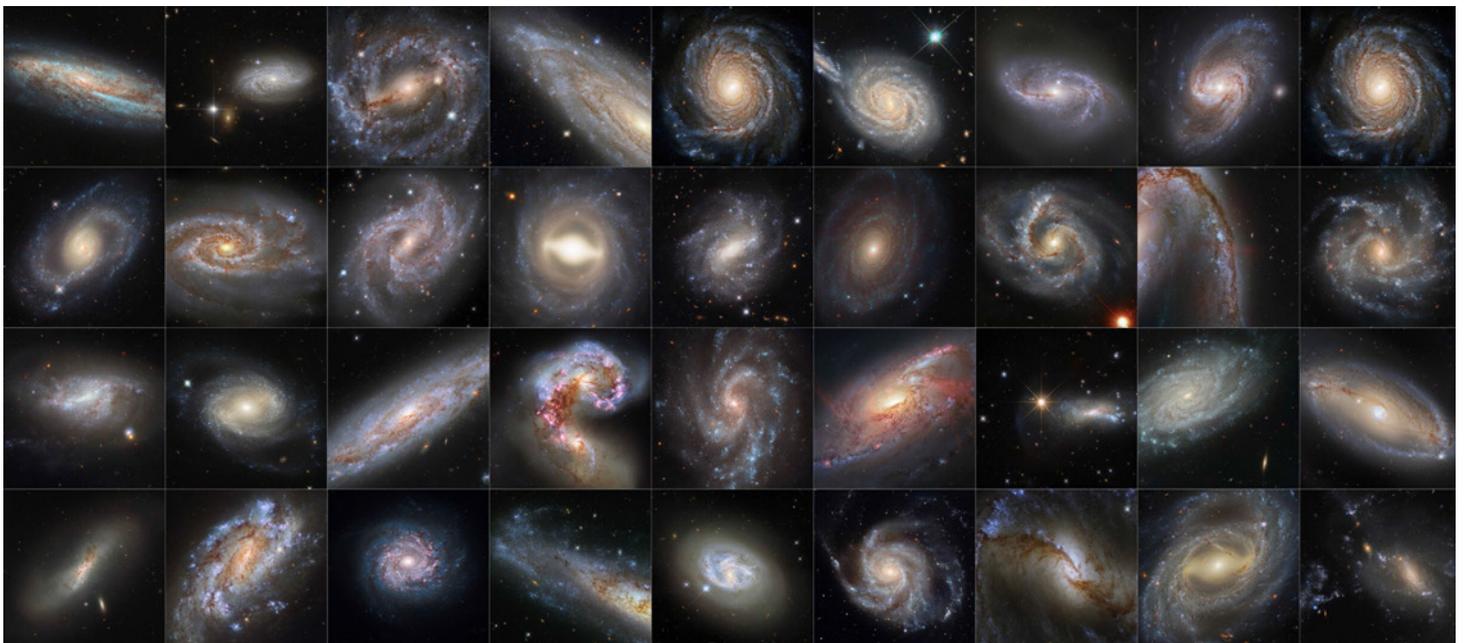
## Попытка заключения

Как я уже отмечал, Год великого перелома II вывел астрономию в необъятный Большой Космос, лежащий за границами нашей галактики. Тем самым он создал предпосылки для начала и умножения кумулятивного изучения Вселенной, проводящегося с использованием продвинутых экспериментальных (сначала только обсервационных) технологий, быстро совершенствующегося математического аппарата и всё более мощных и универсальных методов накопления и анализа больших и сверхбольших массивов данных (включая, если говорить о последних годах, системы искусственного интеллекта). В течение первой половины столетия, которое прошло после 1925 года, эти усилия были в основном делом сравнительно небольших научных коллективов. Позднее они интегрировались в крупномасштабную область исследований, удовлетворяющую самым строгим методологическим стандартам Большой Науки. Она имеет достаточно надежный теоретический фундамент в виде так называемой  $\Lambda$ CDM-модели, обладает прочной дисциплинарной структурой, пользуется (по крайней мере, пока) неплохой общественной и государственной поддержкой и располагает серьезным потенциалом и опорой в высшей школе. Это и есть современная физическая космология, космология XXI столетия.

Было бы слишком оптимистично (а то и безответственно) утверждать, что положение дел в этой науке навсегда застраховано от любых неприятностей. Угрозы просматриваются и для космологии, и для сильно «породнившейся» с ней фундаментальной физики.  $\Lambda$ CDM-модель, которую также называют Стандартной космологической моделью, в ее нынешнем виде не может убедительно ответить на вопрос, что произошло в самом начале нашего Мироздания, когда перестала работать эйнштейновская теория гравитации. Пока что ничего определенного не известно ни о природе гипотетических частиц темной материи, ни о физических причинах открытого в самом конце XX века ускорения расширения Вселенной. Еще одно затемнение на сверкающем космологическом горизонте — это затянувшееся отсутствие прогресса попыток однозначно определить современное значение параметра Хаббла, то самое the Hubble tension, о котором уже говорилось. Не вполне понятно, как может повлиять на космологию возникшая буквально на наших глазах гравитационная астрономия и гравитационная астрофизика.

В общем, проблемы у космологии есть и, скорее всего, будут умножаться. Такое положение дел совершенно нормально для любой активно развивающейся науки. Но если посмотреть, чего она и ее науки-сестры по изучению Большого Космоса добились после 1925 года, захочется закричать «ура!» и начать бросать в воздух чепчики и прочие головные уборы. И, конечно, еще раз отдать дань уважения и восхищения Эдвину Пауэллу Хаббл. ♦

Спиральные галактики из фотоколлекции телескопа «Хаббл». NASA/ESA Hubble Space Telescope



# О новых документальных фильмах об Эйнштейне

Евгений Беркович



Евгений Беркович

**Д**митрий Селезнев, «астроном-любитель и человек неравнодушный к истории науки», как он себя характеризует, выпустил в свет два больших документальных фильма, посвященных Альберту Эйнштейну<sup>1</sup>. Это серьезный культурный и просветительский проект, достаточно сказать, что общая длительность двух фильмов — более восьми часов экранного времени. Это больше, чем совокупная длительность американского сериала-антологии «Эйнштейн», состоящего из десяти фильмов, с большим шумом прошедшего несколько лет назад по телевизионным каналам многих стран. О нем я писал в статье «Альберт Эйнштейн в кино и в жизни»<sup>2</sup>, отмечая многочисленные натяжки и неточности сериала, построенного на основе биографии Эйнштейна, написанной Уолтером Айзексоном, тоже далеко не свободной от ляпов и ошибок.



Фильм Дмитрия Селезнева тоже, к сожалению, содержит неточности, но тем не менее я считаю его лучшим из известных мне документальных фильмов о жизни и творчестве создателя теории относительности. К достоинствам фильма относится хороший подбор деталей, символизирующих время, последовательно выдержанная стилизация мизансцен. Приятно, что ведущий произносит имена героев фильма с правильным ударением — большая редкость в наше время, когда чаще услышишь Ньюто́н, чем Нью́тон. Биографические факты и подробности научных работ Эйнштейна в фильме представлены в основном верно. Но есть и досадные ошибки, о которых мы сейчас и поговорим.

Первый эпизод, представленный в фильме недостаточно точно и полно, — получение Эйнштейном звания приват-доцента и его первые лекции. Эта тема в биографиях Эйнштейна вообще плохо освещена, а если освещена, то неточно. Я специально провел «дегустацию» дюжины биографий Эйнштейна именно по этому вопросу и убедился в отмеченном прискорбном факте (см. мою статью «Почему ошибаются биографы Эйнштейна? На примере описания его доцентуры»<sup>3</sup> или лекцию<sup>4</sup> на эту же тему. В фильме тоже о процедуре хабилитации почти не говорится, приват-доцент рассматривается как одна из низших должностей в университете. На самом деле это не должность, а лицензия на право чтения лекций. Получение этой лицензии — на латыни это *venia legendi* — специальная процедура, состоящая из двух этапов: защита второй докторской диссертации (хабилитация) и пробная лекция перед профессорским составом. У Эйнштейна эта процедура не сразу прошла гладко, первая попытка в 1907 году провалилась, так как он не представил новой диссертации, но со второго раза всё получилось как нужно, и в феврале 1908 года он стал приват-доцентом и получил право читать лекции. В фильме неверно говорится, что един-

ственным слушателем лекций Эйнштейна был его друг Микеле Бессо. Из отчетов Эйнштейна ректору университета (они есть в книге Макса Флюкигера «Альберт Эйнштейн в Берне») следует, что в летнем семестре 1908 года лекции Эйнштейна слушали трое (к Бессо и Шавану нужно добавить Генриха Шенка из Патентного ведомства), а в зимнем семестре 1908/1909 число слушателей выросло до четырех — добавился Макс Штерн, изучавший в университете, правда, не физику, а страховую математику и естествознание.

Теперь о втором эпизоде, не совсем точно показанном в фильме. Когда говорится о необходимости получения австро-венгерского гражданства, ведущий ссылается на консерватизм австро-венгерского императора («средневековая монархия»). Дело тут не в консерватизме императора. Профессор в большинстве стран Европы, в частности, в Германии, Швейцарии и Австро-Венгрии, был государственным чиновником высокого ранга. Зарплату ему платил не университет, а государство — через министерство науки или высшего образования. А государственный служащий обязан был быть гражданином страны. К примеру, Эйнштейн стал гражданином Пруссии, когда был избран профессором в Берлине. То есть дело тут не в консерватизме австрийского императора, а в установившемся всюду в Европе порядке вещей. Так же неверно расставлены акценты при обсуждении вопроса о религии назначаемого профессора. Дело не в причудах австрийского двора, требующего веры в Бога, а в формальной процедуре приема на работу государственного служащего — он дает клятву на верность государству (в данном случае императору). А клятву можно дать только на священной книге — для христиан Библии, для евреев — Торе, для мусульман — на Коране. То есть требование принадлежности к какой-нибудь религии — следствие формальной процедуры приема в чиновники.

В третьем эпизоде, неточно показанном в фильме, говорится, что Гроссман пришел на место недавно умершего Минковского. Герман Минковский покинул Цюрих



Дмитрий Селезнев.  
Кадры из фильма

и стал профессором Гёттингенского университета в 1902 году. Умер он неожиданно от поздно распознанного аппендицита в 1909 году. Гроссман же стал профессором Политехникума в Цюрихе в 1907 году, причем профессором по начертательной геометрии, а это не была должность Минковского. В Политехникуме работало несколько профессоров математики, так что на Минковском свет клином не сошелся.

Особенно огорчительно для меня ошибка в четвертом эпизоде первого фильма, когда в предложении Эйнштейну переехать в Берлин Планк называет его будущей должностью — «профессор университета». Это грубейшая ошибка, по которой я точно определяю недостаточность подготовленных биографов Эйнштейна. На самом деле Эйнштейн не был профессором университета, ему предложили (и он с благодарностью принял) другое место работы — профессором Прусской академии наук. По естественным наукам в академии было только одно профессорское место, которое до Эйнштейна занимал первый нобелевский лауреат по химии голландец Якоб Вант-Гофф. Он умер в 1911 году, и его место в 1913 году было вакантно. Это совсем другая должность, чем профессор университета. Процедуры назначения совершенно разные. Профессор академии мог читать лекции в университете, но не был обязан это делать, как был обязан профессор университета. Поэтому Эйнштейн с радостью принял это предложение, так как педагогическая нагрузка отнимала время от занятий наукой. ▶

<sup>1</sup> Оба фильма доступны на YouTube: [youtube.com/watch?v=QCD1waeX9Ws](https://youtube.com/watch?v=QCD1waeX9Ws) и [youtube.com/watch?v=Dsp2ic10r8s](https://youtube.com/watch?v=Dsp2ic10r8s)

<sup>2</sup> [www.trv-science.ru/2019/02/einstein-v-kino-i-v-zhizni/](http://www.trv-science.ru/2019/02/einstein-v-kino-i-v-zhizni/)

<sup>3</sup> [www.trv-science.ru/2024/01/pochemu-oshibayutsya-biografy-einsteina/](http://www.trv-science.ru/2024/01/pochemu-oshibayutsya-biografy-einsteina/)

<sup>4</sup> [youtube.com/watch?v=gjeeNONSka4](https://youtube.com/watch?v=gjeeNONSka4)

► Последнее замечание по первому фильму: должность Эйнштейна в Цюрихском университете ведущий называет адъюнкт-профессор. Это больше подходит для российских университетов, где такая должность была и означала ассистента (помощника) ординарного профессора. У Эйнштейна же была должность экстраординарного профессора — на ступень ниже ординарного. Отличалась она тем, что зарплату экстраординарному профессору платил университет, а не министерство, т. е. государственным служащим он не считался. После Эйнштейна статус этой должности повысили, и в Цюрихском университете появился уже полный профессор теоретической физики. Должность занял Петер Дебай, а после него — Эрвин Шрёдингер.

Теперь о неточностях во втором фильме. Утверждение, что Милева помогала Эйнштейну с математикой на начальном этапе его работы, ни на чем не основано. Ни в одном из писем Милевы и Альберта об этом нет ни слова. Это повторение спекулятивных утверждений некоторых сербских патриотов и феминисток, давно и окончательно опровергнутые биографами Эйнштейна<sup>5</sup>.

Во втором фильме неточно описывается эпизод, связанный с признанием Эйнштейном работы Александра Фридмана, показавшего возможность нестационарной Вселенной, вытекающую из уравнений Эйнштейна. В фильме говорится, что модель Фридмана Эйнштейну не понравилась и он «вступил с ним дискуссию по переписке». Это не так. Эйнштейн не вступал в переписку с Фридманом. То есть Фридман письмо Эйнштейну написал и отправил 6 декабря 1922 года. Но ответа Фридман так и не дождался. И дело не только в том, что Эйнштейн был «очень занят», его уже давно не было в Берлине, куда послал письмо Фридман. Отказавшись от давно запланированного выступления на съезде Общества немецких естествоиспытателей и врачей в сентябре 1922 года в Лейпциге из-за прямых угроз националистов, Эйнштейн с женой Эльзой 8 октября отправились в длительную поездку в Японию. По пути в Страну восходящего солнца он узнал о присуждении ему Нобелевской премии. В феврале 1923 года на обратном пути из Японии чета Эйнштейнов провела 12 дней в Палестине. Вернулись в Берлин Эйнштейны только в марте 1923 года. А в мае Альберт Эйнштейн оказался в Лейдене, в доме своего друга Пауля Эренфеста.

И здесь состоялась встреча с Эйнштейном друга Александра Фридмана, одного из первых российских физиков-теоретиков Юрия Круткова. Об этой встрече мы узнаём по письмам Круткова сестре. В дневнике Круткова есть лаконичная запись: «В понедельник 7 мая 1923 г. читал с Эйнштейном статью Фридмана в *Zs. f. Physik, Bd. 10*». А 18 мая Юрий сообщает сестре радостную весть: «Победил Эйнштейна в споре о Фридмане. Честь Петрограда спасена!»

К сожалению, в фильме ничего о Юрии Круткове не говорится. Подробности этой долгой эпопеи, закончившейся признанием Эйнштейном своей ошибки, описаны в моей статье «Наши в Европе»<sup>6</sup>.

К слову, нередко цитируемое высказывание Эйнштейна о том, что введение гравитационной постоянной было «самой большой его ошибкой в жизни», есть только в воспоминаниях Георгия Гамова и не подтверждается ни одним другим документом. Скорее всего, это очередная выдумка известного фантазера и шутника Гамова.

Несколько неточностей в фильме есть при описании долгой истории, как Эйнштейну присуждали Нобелевскую премию по физике. Во-первых, утверждение ведущего о том, что первая номинация Эйнштейна на эту премию была в «году чудес» 1905-м, неверно. Первая номинация произошла в 1910 году. Тогда его номинировал Вильгельм Оствальд, тот самый профессор, у которого Эйнштейн девять лет назад безуспешно искал место ассистента. Потом Эйнштейна номинировали на премию почти каждый год, и число номинаций постепенно росло. Например, в 1920 году из 28 номинаций по физике в восьми предлагалось дать премию Эйнштейну.

В фильме не совсем четко говорится о составе Нобелевского комитета. Например, утверждается, что в 1922 году «из состава комитета ушли некоторые консервативные экспериментаторы, на смену им пришли прогрессивные теоретики». Можно подумать, что в Нобелевском комитете по физике какая-то мощная текучка кадров. На самом деле комитет состоял из пяти членов, утвержденных Шведской королевской академией, из него никто не выходил, а был дополнительно включен один новый член — Карл Озеен. Он и предложил компромиссную формулировку — дать Эйнштейну премию за закон фотоэффекта. Обсуждая суть этого закона, в фильме делается не совсем правильное утверждение: «То, что Планк выдвинул как гипотезу, Эйнштейн смог до-

казать в виде закона». Здесь две неточности. Во-первых, Эйнштейн тоже выдвинул недоказанную гипотезу о квантах света, которая потом была экспериментально подтверждена, а во-вторых, это совсем не те кванты, которые предложил рассматривать Планк. Планк рассматривал взаимодействие излучения с веществом, со стенками абсолютно черного тела. И этот обмен энергией он предложил рассматривать как дискретный, состоящий из обмена квантами энергии. Эйнштейн же рассматривал свет в свободном пространстве и предложил его воспринимать как поток частиц, обладающих энергией и импульсом. У Планка — кванты энергии, у Эйнштейна — кванты света, которые потом назовут фотонами.

Вся эпопея, связанная с неприсуждением Эйнштейну Нобелевской премии по физике за теорию относительности, подробно описана в моей статье «Нобелевские премии по физике в контексте истории. Первая четверть XX века» в двух номерах «Семи искусств» (№№ 6,7/2024)<sup>7</sup>.



В части, посвященной травле Эйнштейна за его еврейское происхождение, не совсем точно евреи Германии делятся на две части — ассимилянты и сионисты. Были евреи, как Эйнштейн и Ратенау, которые против ассимиляции, но и не стремились в Палестину. Слова, будто Эйнштейн «с некоторыми оговорками относил себя к сионистам», сомнительны. Эйнштейн помогал сионистам создать Еврейский университет в Иерусалиме, восхищался достижениями еврейских поселенцев в Палестине, но сам никогда не выражал желания переехать на Святую Землю. Более того, когда в 1933 году он остался без работы и постоянного места жительства, а руководство сионистского движения и Хаим Вейцман прежде всего настойчиво приглашали его в родной университет в Иерусалиме, Эйнштейн решительно отказался и даже опубликовал в газете порочащую университет статью. Курт Блюменфельд, руководитель сионистов Германии, писал Вейцману: «Эйнштейн — вовсе не сионист, но он всегда готов помочь в конкретных делах». Называть Эйнштейна сионистом, даже с некоторыми оговорками, — сильно преувеличение.

Рассказ о Ленарде, ставшем злейшим врагом Эйнштейна, в фильме следует в основных чертах моей книге «Альберт Эйнштейн в фокусе истории XX века» (М., 2018) и не вызывает больших вопросов. Разве что город, в котором родился Ленард, произносится Бреслау, а не Бреславль.

Еще несколько мелочей. Собрание, которое устроил для разоблачения Эйнштейна проходивец Вайланд, я бы не называл, как в фильме, «конгрессом». И хотя это собрание проходило в зале Берлинской филармонии, никакая «музыка из оркестровой ямы» доноситься не могла — это явная выдумка создателя фильма.

Несколько упрощенно показаны в фильме непростые отношения Эйнштейна и Бора. «Теплые дружеские отношения» до конца жизни — это явное преувеличение. В конце жизни Эйнштейна отношения его с Бором были достаточно прохладные. А последнюю просьбу Эйнштейна, буквально за несколько дней до кончины, — подписать меморандум против ядерного оружия, который потом назовут Меморандумом Рассела — Эйнштейна, — Нильс Бор просто проигнорировал.

Говоря о заслугах Вернера Гейзенберга, в фильме упоминается только его принцип неопределенности, хотя создание матричной механики, ставшей первой реализацией новой науки квантовой механики — достижение не меньшего значения.

Закончу эту рецензию тем же, с чего начал: фильмы, созданные Дмитрием Селезневым с помощниками, на мой взгляд, сейчас лучшие среди документальных фильмов об Эйнштейне. А работу над ошибками, отмеченными в этой рецензии, вполне уместно провести в третьем фильме, который, как я знаю, планируется к выходу. Желаю ему не меньшего успеха, чем выпал на долю первых двух. ♦

<sup>7</sup> 7i.7iskusstv.com/y2024/nomer6/berkovich/

<sup>5</sup> См., напр., книгу группы американских историков: Рут Левин Сайм, Дэвид Кэссиди, Аллен Эстерсон «В тени Эйнштейна: подлинная история жены гения» (Бомбора, 2020).

<sup>6</sup> 7i.7iskusstv.com/y2021/nomer8/berkovich/

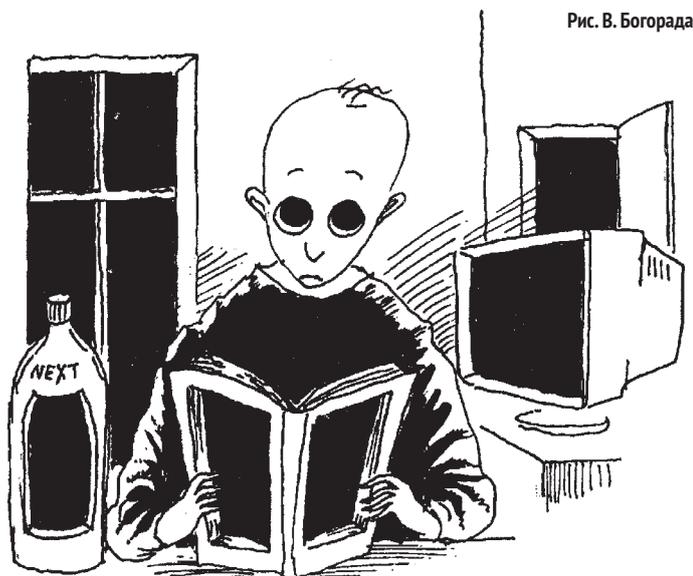


Рис. В. Богорада

щем мире, об элементарных частицах и галактиках, и понимать, что это представление — детское. Человек должен понимать, что мы знаем, а что лишь предполагаем, ну и также представлять себе роль наук в жизни людей.

Второй блок, не обязательный, т. е. добровольный — физика для интересующихся, например, инженерией, химией, биологией и науками о Земле. Для тех, кто собирается работать (а может, и одновременно преподавать) в этих областях. Относительно короткие курсы (например, четверть), и они должны идти последовательно, чтобы школьник мог при желании пройти несколько из них (или все). Курсы с отдельными экзаменами, результаты вносятся в диплом, чтобы вуз мог принимать их во внимание при зачислении. Вузы могут принимать участие в создании этих частей учебника, преподавании этих блоков и проведении соответствующих экзаменов. Третий блок, совсем уж добровольный, — это физика для тех, кто хочет работать в физике. Естественно, отдельный экзамен, отметка в дипломе, участие вузов в создании учебника, преподавании и приеме экзаменов.

Чтобы подчеркнуть серьезность задачи создания подобного учебника, перечислим, на что необходимо обращать внимание при его конструировании:

- на содержание учебника — разное в разных его частях;
- на распределение материала и времени занятий между лекциями, семинарами (уроками), самостоятельными упражнениями, лабораторными работами;
- на содержание и типы задач;
- на содержание и типы лабораторных работ (не только компьютерных);
- на разницу в специфике преподавания в школе и вузе.

И еще два нестандартных вопроса:

- нужно ли пособие для учителей, а если да, то каким оно должно быть, и не нужно ли изучить мнение учителей по этому вопросу;
- раз мы создаем учебник для тех, кто будет работать в науке, технике и образовании, то, может быть, нужно в нем рассказать о ситуации в науке, технике и образовании за рубежом.

Поскольку были упомянуты задачи, напомним, что много новых типов задач, в том числе опробованных на практике, приведено в публикациях «Новое в мире задач»<sup>3</sup>, «Еще новое в мире задач»<sup>4</sup> и в трех публикациях в ТрВ-Наука за 2024 год<sup>5</sup>. В этих заметках было рассказано о новых типах задач, в отношении к которым проявляются разные стороны психологии и интеллекта. Причем важно не только, решил ли человек задачу, важно, выбрал ли ее для решения (при возможности выбора), как решал, получил ли удовольствие и от чего именно. Подчеркнем, что это новые типы задач, а не отдельные задачи новых типов.

Теперь перейдем от сладких снов к обещанному принципиально иному направлению, которое не требует создания нового учебника. Возможность преподавателя отвлечься от стандартного учебника ограничена, и эту возможность можно распределить по времени разными способами. Вот два крайних варианта: отвлекаться от школьного учебника редко, но серьезно, или упоминать о чем-то часто, но неглубоко и ненавязчиво, этак вскользь. При первой тактике можно раз в четверть посвящать урок (или сдвоенный урок) тому, что похоже на настоящую физику. То есть рассмотрению природных или бытовых ситуаций, когда лабиринт от входа не просматривается и не сразу понятно, почему и как происходит то или иное явление, как работает прибор или идет процесс. Несколько подобных ситуаций было рассмотрено в статье «Отвори потихоньку калитку»<sup>6</sup>. Название той статьи призывало отворять для школьников калитку в настоящую физику — не часто, но достаточно, чтобы школьник почувствовал, его «это» или не его.

Для этого предлагалось использовать несколько задач, которые легко и содержательно разворачивались в небольшое исследование. На самом деле таких ситуаций и задач много, некоторые названы в перечисленных выше статьях. И есть книги, состоящие в основном из подобных задач, и они тоже названы в тех статьях. Мне кажется, что наиболее объемный источник — книги Дж. Уокера «Физический фейерверк» и «Новый физический фейерверк», причем первая есть в Интернете. А еще задачи, которые могут быть использованы ▶

<sup>3</sup> Химия и жизнь, 2020, № 4, с. 16.

<sup>4</sup> Химия и жизнь, 2020, № 5/6, с. 32.

<sup>5</sup> № 12 (406), с. 14; 2023, № 26 (394), с. 11; 2023, № 21 (394), с. 5.

<sup>6</sup> Химия и жизнь, 2023, № 3, с. 50.



Леонид Ашкинази

## Физика: между строк учебника

Леонид Ашкинази

*Предоставить интересующемуся школьнику возможность — красивая задача.*

Из Интернета

Мы уже публиковали рассуждения о возможном школьном учебнике физики, состоящем из трех блоков: физика для общности, физика для других наук и инженерии, физика для физики. Для создания такого учебника надо организовать команду из специалистов в разных областях и проделать весьма большой объем работы. А для введения его в практику преподавания надо изменить систему преподавания физики. Поэтому создание подобного учебника не кажется сейчас возможным.

Но идеи, к которым мы пришли, могут кому-то пригодиться. Поэтому изложим их предельно кратко, а потом обратимся к альтернативному направлению, которое не требует создания нового учебника и перестройки системы преподавания. Это направление может стать отдушиной для учеников и учителей, которым нужно и интересно что-то, кроме ЕГЭ и того, что ныне называют олимпиадами (и что сильно отличается от того, куда когда-то радостно бегали мы). Даже в век ЕГЭ могут выживать — страна большая — учителя и ученики, которым нужно что-то еще, кроме дрессировки. И они имеют шансы оказаться в обществе или среде, в которых они, сохранив способность и желание думать, окажутся нужны. В частности, под крылом серьезных университетов может что-то уютиться.

Обсуждение нового учебника физики завершилось, условно говоря, идеей системы из трех учебников, изложенной в статьях «Учебник физики — розовые мечты»<sup>1</sup> и «Две цели хорошо, а три учебника лучше»<sup>2</sup>. Основная мысль проста: содержание учебника должно определяться его назначением. Поэтому учебник должен состоять из трех блоков (можно считать, что это разные учебники, можно — что один, это не важно). Первый блок, обязательный для всех учащихся, включает материал, знание и реальное использование которого каждым человеком — в интересах и его, и общества. Человек должен сознательно не переходить в непопозволенном месте в дождливую погоду, отключать оба предохранителя, меняя лампочку и понимать выражение «видимый разрыв». Человек должен иметь некоторое, хотя бы детское, на уровне аналогий, представление об окружаю-

<sup>1</sup> Химия и жизнь, 2024, № 2, с. 51. Статьи, опубликованные в журнале «Химия и жизнь», можно найти в Интернете по их названиям.

<sup>2</sup> ТрВ-Наука, 2024, № 3, с. 13.

► для хорошего разговора о физике, есть в архиве «Турнира Ломоносова» и архиве журнала «Квант».

Проблема на этом пути очевидна — время. Поэтому кусочек физики для интересующихся, который можно вместить в обязательный курс:

- должен быть маленьким, в преподавании занимать один урок (или один сдвоенный);
- должен базироваться на школьном курсе и либо не вводить новых понятий, либо вводить совсем простые;
- лучше, если это знакомая бытовая ситуация или анализ какой-то модели из учебника.

Если же кусочек оказывается слишком маленьким, т. е. на базе школьной физики глубоко проникнуть в ситуацию не удастся, можно объединять соседние задачи — они обычно сконструированы на одном материале.

Второе направление устроено совершенно иначе: педагог произносит нечто физическое часто, но поверхностно. Так сказать, ненавязчиво напоминает аудитории, что учебником дело не кончается. Основной объект, появление которого в учебном процессе может быть для педагога сигналом, — формула. При возникновении в учебном курсе новой формулы можно спрашивать:

- чем мы здесь пренебрегаем и что учитываем;
- при каких значениях параметров формула верна и с какой точностью;
- в каких природных явлениях она проявляется и какие устройства ее используют.

При этом надо учитывать, что формулы могут быть нескольких типов, и не все эти вопросы имеет смысл задавать про формулы любого типа.

Формула может быть определением, она может вводить новую (в данном учебном курсе) величину. Пример: формулы для скорости и ускорения при движении по прямой  $v=dx/dt$  и  $a=dv/dt$ . Здесь бессмысленно спрашивать, чем мы пренебрегаем.

Далее, формула может быть решением какой-то задачи. Пример: формула для центростремительного ускорения  $a=v^2/r$ . И в этом случае бессмысленно задавать вопрос про точность. Но если при решении использовались приближения, вопрос про точность может быть и осмысленным, и сложным (например, если это формула для емкости плоского и цилиндрического конденсатора).

Бывают формулы для настоящих физических законов. Примеры: закон Кулона, закон всемирного тяготения, законы Кеплера. Здесь применимы все сформулированные выше вопросы.

Отдельная группа — формулы, относящиеся к свойствам веществ и являющиеся в некоторых случаях упрощением более точных или применимых в более широкой области формул. Примеры: закон Гука, законы Паскаля, газовые законы, зависимость удельного сопротивления проводников от температуры. Здесь также применимы все сформулированные выше вопросы.

И, наконец, нечто аксиоматическое или нечто, подтверждаемое многочисленными экспериментами. Иногда пишут и так, и этак, причем в одной книге. Это законы сохранения и начала термодинамики.

В школьном учебнике встречаются формулы всех этих типов. И при всяком возникновении в учебном курсе новой формулы можно спрашивать, какого типа данная формула (из только что перечисленных). Причем ответ не всегда однозначен. Например, закон Ома может быть и определением сопротивления, и настоящим законом, если у нас есть независимые определения входящих в него величин. Аналогична ситуация со вторым законом Ньютона.

В большинстве учебников вопрос о точности законов физики вообще обходится, т. е. обычные формулы считаются точными<sup>7</sup>.

Для попутного с обычным курсом физики задавания попутных вопросов есть ситуации, не обязательно прямо связанные с формулами:

- если какая-то величина названа большой или малой, то по сравнению с чем и почему это существенно;
- если какая-то величина используется как непрерывная (плотность вещества, плотность заряда) то где и как проявится дискретность (атомы, электроны);
- если к утверждению приведен пример, то можно ли привести еще пример;
- можно ли привести контрпример (естественно, связанный с отменой какого-то предположения);
- к любому утверждению можно добавить вопрос — при каких условиях соблюдается и не соблюдается;
- при введении любого понятия можно обсудить границы его применимости (например, бывают ли вообще постоянные токи и сосредоточенные силы).

К поиску ответа можно привлекать и учеников — если найдутся увлекающиеся и привлекающиеся. При поиске материалов, имеющих отношение к тем или иным терминам, употребленным в школьном учебнике, можно использовать линк-лист «Научно-популярные статьи по физике и астрономии в Интернете» (около 1900 линков, 44 тыс. скачиваний линк-листа с 2007 года). В нем как раз большинство линков привязано к терминам или утверждениям школьного учебника, поскольку при его создании предполагалось использование параллельно с прохождением обычного курса физики.

Примерно так — в виде специального и серьезного «приоткрывания калитки» или постоянного «капания на мозги» может быть реализован мостик от ЕГЭ-физики к чему-то, похожему на настоящую физику. Впрочем, эти два способа можно применять и одновременно.

**У этой статьи один автор, но использован коллективный опыт; автор, как вы понимаете, благодарен. Об истории нашей команды FMSH.RU (это и имя, и сайт) рассказано в статье «Привет! Мы с тобой ровесники!...»<sup>8</sup>.**

<sup>7</sup> Иногда возможность ограниченной точности всё же упоминается, например в книге:

Бутиков Е.И., Кондратьев А.С. Физика для углубленного изучения.

В университетском учебнике (Алешкевич В.А. Электромагнетизм) есть пример, доведенный «до числа» — указано экспериментальное ограничение ( $10^{-16}$ ) на отклонение от степени два в законе Кулона.

<sup>8</sup> Химия и жизнь, 2022, № 10.

## Научно-фантастические книги Бориса Штерна, изданные «Троицким вариантом», на маркетплейсах и в нашем магазине



### «Ковчег 47 Либра»

Довольно известная книга о колонизации экзопланеты в реалистичном и драматически-оптимистичном сценарии. *Переиздание книги уже поступило в продажу:*

[ozon.ru/product/1733434732](https://ozon.ru/product/1733434732)  
[market.yandex.ru/pr/5856505139](https://market.yandex.ru/pr/5856505139)

### «Ледяная скорлупа»

История цивилизации жителей подледного океана Европы — спутника Юпитера. Физически эти существа смахивают на головоногих моллюсков, но по духу антропоморфны. В книге излагается история постижения европейцами окружающего мира, что хорошо воспринимается школьниками, но есть и моменты, полезные для научных работников среднего возраста. Само собой — социальная сатира с намеком на обитателей другой планеты. *Книга переиздана в твердом переплете.*



[ozon.ru/product/1724345603](https://ozon.ru/product/1724345603)  
[market.yandex.ru/pr/5856505150](https://market.yandex.ru/pr/5856505150)

### «Феникс сапиенс»

Оптимистический постапокалипсис. Цивилизация гибнет от сущей ерунды, которую двести лет назад едва ли бы заметили, и возрождается через тысячи лет. Далекие потомки расследуют причины гибели цивилизации. Приключения и путешествия трех групп похожих друг на друга героев, разделенных во времени тысячами лет.

[ozon.ru/product/1724345590](https://ozon.ru/product/1724345590)  
[market.yandex.ru/pr/5856505140](https://market.yandex.ru/pr/5856505140)



Также книги можно приобрести с автографами автора в магазине ТрВ-Наука: [www.tv-science.ru/product-category/books](https://www.tv-science.ru/product-category/books)



## Про актеров

Александр Мещеряков

**М**ежду прочим, много десятилетий назад в нашу молодежную компанию затесался Алик. Он учился на актера. Когда мы гурьбой выкатывались с очередного квартирника, он так ловко прикидывался скорченным и трясущимся уродцем, что обалдевшая служительница метро пропускала его бесплатно. Ленина он тоже изображал бесподобно. Вскочит на стул прямо в ботинках, картавит и кепкой размахивает.

«Революция, о необходимости которой всё время говорили большевики, свершилась!» Бурные аплодисменты, возгласы: «Наливай еще!» Ту шутовскую кепку Алик всегда таскал с собой. Кепка была в крупную черно-белую клетку. Где он ее взял, остается секретом. Вторую такую же я видел только на голове знаменитого клоуна Олега Попова.

Алик был обаятельным человеком. Как-то раз он прикинулся пьяным прямо перед отделением милиции. Его тут же подхватили под белы ручки и потащили в обезьянник, а он вдруг оказался трезвее стеклышка. «Роль разучиваю», — с обезоруживающей улыбкой сказал он и отделился легким поджопником. «Ловко я их!» — с восторгом повторял Алик.

Но вот студенческая вольница закончилась, компания рассыпалась. Временами я видел Алика во второсортных фильмах и жалел его. Почему-то ему поручали играть положительных героев, а не веселых прохиндеев. Директор завода, секретарь парткома, передовик производства... Серьезен до ужаса, шутки не шутит, не улыбнется. Временами с остервенением курит папиросу. Так тогда полагалось изображать напряженную работу мысли, направленной на построение коммунизма. Тоска. Все-таки даром перевоплощения Алик обладал не в полном совершенстве.

И вот прохожу я как-то раз мимо академического театра, где служил Алик. Актеры отчего-то предпочитают говорить не «работал» или «играл», а именно «служил». Наверное, потому что они служат искусству. И тут я вдруг сталкиваюсь с запыхавшимся Аликом, обнимаем — он раздобрел, округлился — не обнять.

— Как дела? — спрашиваю.

— Ты что, телевизор не смотришь?! Я теперь Ленина играю!

— Ты же всегда антисоветчиком был!

— Подумаешь! Кем я только не был! А теперь вот Ленина играю! Революция, о необходимости которой всё время говорили большевики, свершилась! Вот повезло так повезло! Я хударуку сказал, что не могу роль вождя мировой революции в своей коммуналке репетировать, потому что мне речи нужно погромче произносить, а соседи в милицию жалуются, будто дети пугаются и заснуть не могут. Так Моссовет мне квартиру трехкомнатную дал! Ловко я их!

— Ловко, — согласился я.

Алик на секунду задумался и выпалил:

— А я ведь у тебя из дома двадцать лет назад книжку упёр!

Взглянул на меня с гордостью — смотри, мол, какой я совестливый и памятливым.

— И какую же? — в эту минуту я было подумал, что он хочет книжку вернуть.

— Про Гришку Распутина, дореволюционную, с «ятами».

Я хорошо помнил эту книгу. Там еще на обложке портрет Григория Ефимовича помещен: дегенерат, безобразно заросший сальными волосами. Я подобрал книжку на школьном дворе, куда старательные пионеры сносили макулатуру. По правде сказать, книжка так себе, но когда я не смог найти ее на полке, всё равно расстроился.

— Книга-то хоть понравилась?

— А я не читал, сразу продал.

— И сколько тебе дали?

— Я нашел одного идиота, который сто двадцать рублей отвалил! Библиофил! Я на эти деньги на Чёрное море скатался, в Сочи на квартире жил. С Маринкой познакомился, мы потом поженились. Потом, правда, развелись. Она в служении искусству ни хрена не понимала. Серость, одним словом. В общем, спасибо тебе, извини, что не поблагодарил раньше.

Алик обаятельно улыбнулся, раскаяния на лице не изобразил. А ведь мог бы. Актер все-таки. Но я не стал обижаться — срок давности прошел. Так что спросил:

— А сейчас ты куда спешишь? На репетицию?

— Нет, — вздохнул Алик. — На партсобрание. Положение, понимаешь, обязывает. Тоска, конечно, но стоит потерпеть, обещались вскорости к ордену представить.

Перед обаянием Алика было и вправду не устоять.

### От редакции:

Поздравляем нашего постоянного автора и просветителя Александра Николаевича Мещерякова с днем рождения и желаем здоровья, благополучия, академических свершений и новых художественных книг 80+, 90+ и 100+

\*\*\*

Знавал я когда-то одного странного японского типа. Фамилия его была Кадокава, но приятели в честь Чаплина звали его просто Чарли. Носил «котелок», помахивал тросточкой. Прохожие на него оборачивались. Высокий, лицо не японское: черты грубые, нос — выдающийся. Так что на Чаплина он был тоже совсем не похож, хотя усы у него были «щеточкой». Так почему же Кадокава-сан переименовался в Чарли?

В эпоху немого кино в Японии не прижились таперы: синематографов было больше, чем пианистов. Тогдашние японцы были к пианино непривычные. Зато театр одного актера имел вековую историю, так что таких говорунов гуляло по стране много. Вот они и усаживались на сцене и взахлеб рассказывали, что на экране делается — никаких титров не надо. Да и иностранные ленты пояснять требовалось: зачем это актеры так руками размахивают — ведь это неприлично? Или вдруг европейские аристократы на людях целоваться начинают, а это уж ни в какие ворота не лезет! Японские аристократы никогда так не поступали. В лучшем случае они лишь выразительно молчали. Таких рассказчиков называли *бэнси*. Можно перевести как «болтуны», а можно оставить и без перевода.

Отец моего Чарли был профессиональным бэнси. Но эпоха немого кино закончилась, и сколько ни протестовали бэнси, всех их распустили по домам. Выгнали и отца Кадокавы, и он стал болтать по радио. Голос-то поставленный. Но он всё равно тосковал по своей первой профессии. Когда уже после войны семья обзавелась телевизором и по нему стали показывать кино, отец выключал звук и взахлеб комментировал происходящее жене и сыну. Те почтительно слушали.

Чарли оказался хорошим сыном. И хотя он стал конторским служащим, уроки детства не пропали даром. Любители прошлого времени облюбовали какую-то сараюху, и вышедший на пенсию Чарли озвучивал для них доисторические ленты. В основном чаплинские. В свое время Чаплин был настолько популярен в Японии, что когда

Окончание см. на стр. 26



Чарли Чаплин и Вирджиния Черрилл в фильме «Огни большого города»

**Промышленность  
музыкального  
переживания**

Историки культуры при всем небывалом разнообразии накопленного материала, вероятно, никогда не перестанут удивляться одной синхронности: практически одновременно были созданы дирижерская палочка и непрерывный печатный станок. Дирижеры эпохи Просвещения управляли оркестром по-разному — от щелчка пальцами до размахивания обычным смычком или партитурой, — но всё это было лишь отбивание такта, которое не могло одолеть концертмейстерское управление: равнение всех музыкантов в оркестре на клавианиста.

Только понимание симфонии не как *тактовой* музыки, но как *панорамной*, изображающей весь звучащий мир, потребовало освободить дирижера от всех обязанностей, кроме взмаха легкой палочки, примерно как директор завода, в отличие от мастера в цеху, ничего не делает, кроме работы с бумагами и проведения совещаний. Палочку впервые употребил в Вене в 1812 году Игнац Франц фон Мозель, но ее распространение в Европе обычно связывают с именем Людвиг Шпора, дирижировавшего в 1817 году во Франкфурте-на-Майне.

Точно так же в эпоху Просвещения при всех выросших тиражах, при появлении новой читательской аудитории, в том числе женской, печатный пресс продолжали опускать на лист вручную. В 1803 году Фридрих Кёниг впервые попытался сделать станок печатающим непрерывно благодаря системе шестеренок, поднимающих стол печатного станка и выдвигающих и вновь вдвигающих ложе, равно как и проводящих валик с краской по набору. Шестеренкам пришлось постараться, взяв на себя всю тяжесть реформы печати.

Но эта машина была громоздкой и ненадежной, как ненадежно управление большим оркестром с помощью концертмейстерской игры. Нужна была уже не мануфактура, где концертмейстерски предписываются нормы, как и что и с помощью каких техник делать, а завод, индустрия, в которой все техники растворены в непрерывном повторении одних и тех же операций, в иллюзии, что так было и так будет всегда, — и при этом завод допускает быстрое освоение выпуска новой продукции, как бы открытый финал, позволяющий легко превратить завод во что угодно, в предприятие по выпуску чего угодно.

В 1811 году Кёниг и его компаньон Андреас Бауэр решили сделать цилиндрическим также ложе, к которому крепился лист бумаги. Валик проходил по ложу, двигая его взад-вперед, и как бы дирижировал; таким образом, отпечатанные страницы вылетали из аппарата непрерывно. В Лондоне к этому станку подключили паровую машину Уатта — и станок стал печатать лист за две секунды: за час выходило 1800 листов. Секунда, а не произвольный такт, стала мерой XIX века: и карманные часов-брегетов с секундной стрелкой (хотя появились они еще в конце XVIII века), и выверенных движений дирижера, не ускоряющего или замедляющего мелодию в угоду публи-



Александр Марков

**Музыкальное чувство:  
от неокантианства к феноменологии  
и обратно**

*Александр Марков, профессор РГГУ  
Оксана Штайн, доцент УрФУ*

ке, и механической работе типографского станка, сделавшего дешевыми учебники и газеты.

Главным в изобретении Кёнига и Бауэра была система перфектора, т. е. печатания двумя цилиндрами на двух сторонах бумаги, без зазора, как прежде при ручном переворачивании бумаги. Это и есть лучший образ симфонии: движение без зазоров, согласие не просто как гармонизация отдельных впечатлений, но как действующая, накатывающая на слушателя гармония, не дающая передохнуть, но пробуждающая самое глубокое чувство и самую глубину фантазии. Романное воображение, уносящее в далекие страны, и музыкальное воображение, открывающее в глубине источники слёз, стояли рядом.



Посмертный портрет Вольфганга Амадея Моцарта кисти Барбары Краффт. 1819 год

Новая музыкальная, заводская и романная продукция — продукция с неопределенным финалом. *Последняя нота, зависающая в тишине*, перед аплодисментами, важнее всего в музыке XIX века, чем она и отличается от прежней музыки как сопровождающей настроение и работающей с аффектами. Так и в романе появляется открытый финал или финал, зависящий от читателя (в угоду читателям заменяли или переосмыслили финал очередного тома многие писатели — от Дюма и Диккенса до Фадеева (в «Молодой гвардии») и А.Н. Толстого (в «Петре I») — советским писателям еще и требовалось переосмыслить под влиянием критики сверху и социальную суть всех без исключения эпизодов и вносить правки), т. е. та самая нота, которая тянется в тишине роковой неопределенности прежде признания читателями.

Это опять же отличается от *морального* понимания литературы в эпоху Просвещения, когда подразумевалось, что некоторое число мо-

ральных уроков, извлекаемых по ходу чтения, делают финал просто поводом разобраться, что в прочитанном вымысел, а что — правда. Например, в «Евгении Онегине»

Ленский — человек *открытого финала*, даются разные варианты его возможной судьбы — от национального поэта до барина в стеганом халате, а Онегин — человек эпохи морализма и либертинажа, в котором что-то — пародия, что-то — имитация, что-то — принятие правил поведения и освоения заводских достижений только со стороны комфорта.

В эпоху дирижерской палочки нужно принять *абсолютный вымысел* как *абсолютную правду*.



Оксана Штайн

**Моцарт как новый Овидий?**

Но нас интересует сюжет еще более поразительный: музыкальность немецкой философии. Важнейшую проблему поставил создатель феноменологической социологии Альфред Шюц в статье «Моцарт и философия» (1956). В этой статье он ставит примерно такой вопрос: по духу своему Моцарт принадлежал эпохе Просвещения, включая его укромные уголки, переворачивания и системные опровержения, такие, как масонство, тоже относящееся к эпохе чаемого света всеобщей ясности. Но его *жизненный мир* (*Lebenswelt*, важнейший термин феноменологии) не был миром Просвещения: он скорее равнялся на публику, на коллег, на исполнителей, а не на общую норму просвещенного знания. От такого знания он мог легко отступить ради импровизации, ради чьих-то прихотей и даже своих прихотей, и потому он не может быть описан как философ Просвещения.

Но мы напрасно будем объяснять Моцарта как композитора барокко, классицизма или романтизма, так как все эти эстетические движения имеют в виду некоторые условности, нечто неправдоподобное, на фоне чего и видно правдоподобие. Благодаря фактору фантазийности, допущению чего-то эстетически фантазийного, и осуществляется *жизненный мир*: мы понимаем, что драматические ситуации не могут прийти до чего-то совершенно невероятного или нелепого, что даже внешняя сюжетная нелепость имеет соответствием правильное и закономерное считывание хода событий.

Тогда как Моцарт может избегать этих условностей, образующих горизонт безусловного; горизонт драмы как поучительной и парадигматической для общественных событий: «*Теперь посмотрим, как Моцарт решал философские проблемы с исключительно музыкальных позиций, т. е. как ему удавалось достигать единства мелодии и драматического правдоподобия, создавая ансамбль речитатива и оркестра таким образом, который не приходил в голову французским теоретикам*»<sup>1</sup>. Здесь Шюц прямо говорит, что ансамблевый принцип в варианте Моцарта не есть принцип условности. Это другое: принцип столкновения *этически достоверного сообщения*, урок из которого может быть извлечен сразу, и *эстетически достоверной мелодии*, которую мы сразу угадываем, радуемся ее явлению и предчувствуем ее повороты. ▶

<sup>1</sup> Шюц А. Моцарт и философия / пер. Н.М. Смирновой // Вестник культурологии. 2003. № 1. С. 148.

► По этому поводу Шюц спорит с неокантианцами, а именно с Германом Когеном. Он упрекает Когена в том, что тот сводит философию Моцарта к философии любви или искусству любви. В полном соответствии с неокантианским требованием критики научного разума Коген настаивает на том, что Моцарт — автор новой науки любви, нового извода Овидия, и что гениальность его в том, что он через овладение голосом, через развертывание возможностей голоса передал универсальность этой науки. Это как раз соответствует неокантианскому критерию общезначимости науки: наука не обязательно опирается на точные и ясные определения, как этого требовал Декарт. Наука может просто показывать овладение собственным предметом, собственным методом, собственным состоянием, и тем самым оказываться состоятельной.

Шюц пересказывает Когена, точнее, его реконструкцию дела Моцарта: «*Стоящая перед ним (Моцартом. — А. М., О. Ш.) проблема заключалась в том, чтобы показать, что любовь является истоком и завершением всех человеческих действий, и соединить этот принцип с этикой драматического действия. Он преуспел в этом, придерживаясь точки зрения о независимости музыки, и в то же время погружая драматическую идею сюжета в гармонию его языка любви — любви природной и человеческой. Именно поэтому человеческий голос является основой оперы; всё остальное не столь значимо. И величайшим достижением моцартовского гения стала возможность удерживать связь любви с драматической идеей на чисто человеческом уровне и тем не менее выразить на этом уровне опыт трансцендентного и божественного*»<sup>2</sup>. Коген, как мы видим, говорит о двойной эмансипации, произведенной Моцартом: он отпускает музыку на волю, исходя из того, что ее гармония подтвердит любовь, будет доказательством того, что любовь всегда свободна, но и он же отпускает на волю трансцендентное и божественное, которое оказывается фактором опыта, чем-то, что позволяет говорить о любви как о высшей ценности. Тем самым Коген утверждает, что чувство любви и обожаение любви как чувства имеет структурные причины в творче-

<sup>2</sup> Там же. С. 150.

стве Моцарта. Новая наука любви произведена Моцартом полностью, и его оперы — учебники такого искусства. Стоит только неокантианцам составить к этим учебникам правильные вопросы — и любовью станет основным принципом жизни современных людей.

## Моцарт как новый Платон

Но для Шюца как феноменолога и оппонента неокантианства нет факторов, а есть горизонты. Трансцендентное могло бы быть горизонтом опыта, если бы мы допустили, что всякая любовь имеет открытый финал, может кончиться чем угодно — и счастьем, и трагической катастрофой. И музыка не может просто подтверждать любовь, она по Шютцу теоретически могла бы быть горизонтом переживания, образовывать форму этого переживания как преодолевающего наши привычки, наши привычные способности членить наши впечатления, воспоминания и мечты. Но тогда мы должны были бы сначала научиться относиться ко всем нашим идеям критически, стать гиперкритичными до невозможности, забыв даже о нашем жизненном мире, и тогда принять музыкальную стихию как стихию самого необходимого нам переживания.

Но вряд ли мы можем до конца освободиться от представлений, от моделей воспоминаний, от знаний. Поэтому музыкальное воздействие есть воздействие определенно-го важного события, а не переживания всех возможных событий. Мы чувствуем, как музыка становится событием большим, чем другие события в нашей жизни, но при этом не можем сказать, что музыка оправдала какие-то события в нашей жизни, доказала правду хотя бы одного нашего поступка.

Шюц прямо говорит, что Моцарт приспособил свои произведения не просто к господствующим вкусам, но к мимолетным вкусам: «*Более того, Моцарт без колебаний менял драматическую структуру своих опер, вставляя туда одну арию для любимых певцов и исключая другие, не подходящие для данных исполнителей. Так, при исполнении оперы „Дон Жуан“ в Вене он даже опустил финальную сцену, в которой оставшиеся в живых разбегаются после провала героя в преисподнюю, лишь потому, что из-за дополнительно вставлен-*

*ных специально для этого исполнения номеров опера оказалась непомерно затянутой. И если бы всё это и не доказывало несостоятельности утверждений Когена, достаточно было бы взглянуть на личности моцартовских либреттистов, Да Понте и Шиканедера, широко известных авантюристов своего времени. Их представление о хорошем оперном тексте, конечно, же, не имеет ничего общего с теорией Когена. Артур Шуриг справедливо заметил в своей хотя и весьма спорной работе, что в более нереалистичной манере Моцарта как оперного композитора трудно даже себе и представить»*<sup>3</sup>.

Таким образом, Моцарт создает открытый финал, но еще не исходя из заводских обычаев, но просто как открытый любым важным событиям, любым головокружительным авантюрам, тому, что важнее отдельных техник или умений музыкального искусства. Но он открыт и тому, что важнее искусства любви, а именно тому неуловимому единству горизонтов — горизонта вдохновляющего звука и горизонта трансцендентного откровения, — которые подтверждают друг друга именно тем, что друг друга отрицают. Один становится фактором фантазийности, а другой — реальностью, и они могут в любой момент поменяться ролями по веселой прихоти Моцарта.

В жизни мы можем не верить ни во что трансцендентное, а звук музыкальный в какой-то момент может показаться нам навязчивым. Но как раз тот самый фактор фантазийности действует у Моцарта со свободой небывалой: он отпустил не только звук и трансцендентное на волю, но и всего себя со всем своим опытом, сам себя сделал открытым финалом своей же жизни.

Объявляя фантазийным трансцендентное, мы убеждаемся в реальности звучащего в нас вдохновения, которое предшествует любым фантазиям и возможностям, и потому реальное. А как только мы начинаем считать вдохновение фантазией, мы принимаем трансцендентное как единственный смысл нашей жизни, как единственное, благодаря чему в мироздании есть что-то, кроме фантазий, — назовем ли мы это Богом, научным законом или истиной, или правдой, или платоновской идеей Блага. ♦

<sup>3</sup> Там же. С. 151.

## МЕЖДУ ПРОЧИМ

Окончание. Начало см. на стр. 24

он приехал сюда в 1932 году, молодые и бравые флотские офицеры задумали устроить на него покушение. Они рассчитывали, что убийство такой планетарной фигуры, как Чаплин, заставит Америку объявить войну Японии, и тогда-то мы ей покажем! Офицеры даже не знали, что у Чаплина английское подданство. Но они бредили войной и думали, что именно война покончит с проклятым западным влиянием, и японцы наконец-то вспомнят: они наследники самураев, а не чей-то там придаток. Покушение сорвалось, вместо Чаплина террористы угрохали премьер-министра Инукаи. Ему было уже 76 лет. Так что причин для объявления войны у Америки не оказалось, и тогда через девять лет Япония напала на Пёрл-Харбор.

Идет 1992 год, мы сидим в дешевом баре в Асакусе. Чарли чешет языком так же быстро, как мелькают кадры из прошлой эпохи. Он наловчился читать по губам. «Вот эти мужики в углу обсуждают, как им повысить производительность труда на своем заводе. А вот эти, которые у окна, продумывают схему телефонного мошенничества». «Тебе бы в полиции цены не было!» — восхищаюсь я. Чарли удовлетворенно замолкает — потягивает «пятицветный коктейль». Это такой пижонский напиток из двадцатых годов теперь уже прошлого века: в бокал последовательно наливают разноцветные ликеры, а они

в силу разного удельного веса укладываются друг на друге живописными слоями. По-русски это называется «ершом» и, судя по тяжелению векам Чарли, забирает хорошо. Но вот он встепенился: «Знаешь, а я ведь своей жизнью очень доволен. Денег маловато, но зато надо мной теперь начальника нет. Я сам себе режиссер! Это же счастье! И я ведь каждый раз текст переиначиваю. Творческая работа!»

Тут я решил устроить Чарли экзамен и проверить, действительно ли он годится для работы в уголовном розыске. «А теперь повтори, что я буду говорить». И начинаю беззвучно декламировать «Я помню чудное мгновенье...» По-японски, разумеется: «*Ватакуси ва оботэ иру. Кисэки-но ёна сункан-о. Ватакуси-но маз-ни кими га араварэта. Цука-но маз-но мабороси-но ёни киёракана би-но кэсин-но ёни*». Ну и так далее.

Чарли наблюдал за шевелением моих губ с некоторой безразличностью. Когда я, обуреваемый восторгом, дошел до слов «И сердце бьется в упоенье, / И для него воскресли вновь / И божество, и вдохновенье, / И жизнь, и слезы, и любовь», Чарли закачал головой: «Нет, с тобой мой номер не проходит. Ты наши звуки нечетко выговариваешь, ничего не разберешь».

В общем, не сгодился Чарли для уголовного розыска. Вот и хорошо. Полицейских много, а Чарли один. Кому-то ведь и немые фильмы озвучивать нужно. К тому же в Японии и преступность очень низкая. ♦



piclumen.com

## Свидетель и только свидетель

Рассказ Павла Амнуэля



Павел Амнуэль

Она припарковала машину на Юго-Западной Кенсингтон Авеню, напротив теннисных кортов парка Вашингтона, и по извивавшейся тропе прошла к розарию, но сегодня здесь оказалось много людей, и она направилась к Шекспировскому садику, отделенному от розария невысоким заборчиком, где были изящные металлические воротца, отомкнув которые она вышла на знакомую тенистую аллею. Здесь стояли удобные скамейки, и запах роз ощущался, будто прилетевший с ветром из далекой сказочной страны.

Она любила сидеть в тени кленовых деревьев – и думать. Просто думать – без особой цели. Но именно так всегда что-то придумывалось. Она облюбовала этот сад лет десять назад и приезжала сюда всякий раз, когда хотела не просто побыть одной – для этого было много других возможностей, – но «отпустить» вечные занятые мысли.

Посреди скамейки примостился солнечный зайчик, и она села рядом – справа, зная, что минут через десять зайчик переседет к ней на колени, и с ним можно будет поговорить, как она говорила уже добрый десяток лет. Зайчик умел слушать – это единственное, что он умел, для нее этого было достаточно. Люди редко умеют слушать, особенно – слышать мысли.

Шаги на гравиевой дорожке слышны издали, и она знала, что, кто бы это ни был... он или она... скорее он, судя по звуку... пройдет мимо и дальше.

Из-за поворота дорожки появился невысокий кражистый мужчина, с широким выразительным азиатским лицом, в прекрасно сшитом темно-синем костюме. Лениво – скорее автоматически, чем намеренно, – она следила взглядом, думая о своем, делая одновременно профессиональные выводы. Из японцев, скорее всего. Адвокат или член правления какой-нибудь уважаемой компании. Впрочем, одернула она себя, в нынешние времена это мог быть и простой клерк.

Мужчина шел медленно, бросил, естественно, взгляд в ее сторону и отвернулся. Миновал скамейку, на мгновение замедлил шаг...

Лицо его показалось ей знакомым. Не ожидала встретить этого человека здесь, в Портленде... хотя... почему нет... Если он обернется...

Мужчина дошел до очередного поворота дорожки, обернулся – не навязчиво, а будто вскользь, на мгновение взгляды их встретились, и она улыбнулась.

– Прошу прощения, мэ, – произнес мужчина низким бархатным голосом. – Если я не ошибаюсь...

– Если я не ошибаюсь, – перебила она, – вы судья Ито.

– А вы...

– Вы, видимо, посетили сад камней? Он как раз в той стороне.

– Нет, – судья покачал головой. – Здесь есть сад камней? Не знал. Впрочем, если бы и знал, не пошел бы. Вас это удивляет?

– Нет. Моя хорошая знакомая родом из Стокгольма, но совсем не интересуется шведской культурой. Вас это удивляет?

– Нет.

Солнечный зайчик переместился с ее колен на правую сторону скамейки, она проследила за ним взглядом. Зайчик будто предлагал судье присесть, а она не возражала.

Судья Лэнс Ито медленно вернулся, взглядом попросил разрешения, получил его и, подтянув брюки, опустился на край скамьи. Солнечный зайчик оказался между ними, они посмотрели на него и улыбнулись друг другу.

Помолчали. Первые слова в диалоге – тем более неожиданном – самые важные.

– Хороший сегодня день, – сказала она банальность. – Я изредка приезжаю сюда в такие дни, здесь приятно думать.

– Представляю, – кивнул Ито и добавил: – Я видел вас недавно в программе «Шоу Грэхема» на NBC и подумал, какой бы вопрос я задал, если бы находился в зале.

– Какой же? – спросила она с любопытством.

– Так и не придумал, извините, – рассмеялся судья. – Я... скажем так... не большой знаток фантастики. Хотя...

– Да? – подбодрила она, потому что судья вдруг замолчал и прикрыл глаза.

– Десять лет назад, – медленно произнес Ито минуту спустя, – я имел счастье поговорить с великим Айзеком Азимовым.

– Айзек любил поговорить, – подхватила она, радуясь тому, что банальности, которыми обычно начинаются случайные разговоры, закончились. – Это было...

Она вспомнила, что произошло десять лет назад, и нахмурилась.

– В клинике университета в Нью-Йорке. Мистер Азимов говорил о вещах, которые никогда не приходили мне в голову, но с тех пор я часто о них думаю, и со временем мне всё больше кажется, что Азимов был прав, хотя и говорил вещи фантастические.

– Представляю! Он сыпал идеями, как ветер – песком на пляже. И почти каждая его идея становилась потом рассказом или романом.

– Только не та, – скорбно произнес Ито. – Через две недели великий Айзек умер. Наверно, он только мне и успел рассказать, а я... – Ито пожал плечами. – Я мало что понял.

Она помолчала, полагая, что судья скажет недосказанное, и диалог продолжится, иначе молчание станет окончанием, и знаменитый судья встанет, попрощается, она кивнет в ответ, а солнечный зайчик продолжит свое медленное путешествие по скамейке.

– Мы говорили об уликах, – произнес Ито.

– Об уликах? – непроизвольно переспросила она. Меньше всего она могла предположить, что в клинике, за две недели до смерти Айзек мог обсуждать с судьей улики... почему? Она знала, как и от чего умирал Азимов, все это знали, хотя не подавали вида и в разговорах этой темы старались не касаться.

– Да, – кивнул Ито. – мистер Азимов утверждал, что мы живем не в одной, а во множестве вселенных, и часто... да, часто... мы, судьи, выносим обвинительный приговор человеку на основании косвенных улик. Я тогда подтвердил, что это частая практика, а мистер Азимов сказал, что улики могут быть из другой реальности, параллельной, а в нашей реальности обвиняемый невиновен.

Ито произнес фразу на одном дыхании, будто старался скорее высказать то, во что сам не верил.

– Представляю ваше замешательство, – улыбнулась она. – Айзек мог поставить в тупик любого.

– Тогда, – задумчиво продолжил Ито, ободренный тем, что был хотя бы внимательно выслушан, – я много об этом думал. Если мистер Азимов был прав, то значительная часть наших приговоров попросту ошибочна, и мы осуждаем людей, не виновных в нашей реальности, но совершивших преступление в каком-то другом мире. Это было неприятное ощущение, и я избавился от него лишь несколько лет спустя.

– Несколько лет... – тихо произнесла она. – Айзек умер в девяносто втором...

Судья перебил ее – не очень вежливо, но она поняла его волнение.

– Да, дело Симпсона, – напомнил Ито.

Теперь она перебила его, и он понял ее волнение.

– Улики против него могли быть из другой реальности? – она сложила два и два и воскликнула, глядя Ито в глаза: – Присяжные вынесли вердикт «невиновен», не смотря на массу улик, а вы, судья Ито, оправдали Симпсона, потому что думали... хотели думать... что улики против него были из другой реальности. Как и говорил Айзек.

Ито кивнул и взгляд не отвел.

– Я говорил себе: судья должен принять вердикт присяжных. И я принял, хотя понимал, что присяжные оправдывали не убийцу, а чернокожего, которому сочувствовали. Но в глубине души, оправдывая Симпсона, я думал о словах мистера Азимова. Я говорил себе: что, если Азимов прав? Бывают случаи – и дело Симпсона одно из таких, – когда преступление человек совершил в другой реальности, а улики оказались в нашей. А здесь он... да, невиновен, хотя все улики против него.

– И так примирились с собственной совестью, – заключила она. ▶

► – Вы... – голос Ито дрогнул. – Вы считаете, что я оправдал виновного и утешаю себя фантастической идеей Азимова? Я хочу сказать, что вы принадлежите к тому же цеху фантастов, и понять мысль коллеги вам проще.

– И я, – кивнула она, – могу вам помочь разрешить противоречие в собственном сознании? Эта мысль мучает вас уже десять лет?

– Не скажу, что мучает, – покачал головой Ито, – но мешает спокойно принимать реальность.

Солнечный зайчик успел переместиться и теперь возлежал на коленях судьи.

– Мы с Айзеком, – сказала она, – не часто встречались. В основном на конвентах, когда или его, или меня, или обоих – так тоже бывало – награждали премиями. Вокруг множество энергичных молодых фэнов, вопросы, автограф-сессии, не всегда удавалось перебраться хотя бы парой реплик... Два раза... жалею, что всего два... мы смогли хорошо поговорить за чашкой кофе в отеле. Но... говорили не о фантастике, а о жизни. О делах литературных, издательских. Знаете, судья, я с большим удовольствием читала научно-популярные книжки Айзека, чем его фантастику. Он замечательно умел объяснять сложные вещи. Может, поэтому его фантастика выглядела простой и доступной, хотя, если вдуматься, была сложнее, чем у... Простите, судья, что-то я разговорила. Вы не об Айзеке хотели поговорить, верно?

Ито прикрыл ладонью солнечный зайчик, и тот пересел на тыльную сторону ладони, непобедимый и светлый.

– Я, – сказал судья, – хотел, чтобы вы меня переубедили. Не очень приятно почти при каждом судебном решении вспоминать тот разговор и задавать себе... только себе... никто больше о сути нашего с мистером Азимовым разговора не знает. Вряд ли кто из коллег понял бы меня.

Она сделала отрицательный жест рукой и подняла на Ито взгляд, спрашивающий: почему именно я?

– Потому, – сказал Ито, отвечая скорее на взгляд, чем на жест, – что вы пишете научную фантастику, и, как мне кажется, именно вам идеи Азимова не могут быть чужды. Хотя могу и ошибаться, – добавил он, не позволив себя перебить. – Признаться, я не большой знаток фантастики.

– Вы уже говорили...

– Да, но в свое время... Я был молод и еще не ушел с головой в юриспруденцию. Ваш «Резец небесный» меня не скажу, что покорила, но впечатлил.

– Но потом были... – начала она.

– Я знал, что вы это скажете! – воскликнул Ито, попытавшись спрятать солнечный зайчик в кулаке. Конечно, это ему не удалось, зайчик выбрался из темницы и, сдвинувшись, устроился на скамейке, где ему было спокойнее.

– Вас называют королевой фэнтези, – продолжал Ито, – но, по-моему, это чужь. «Слово для леса и мира одно», «Планета изгнания»...

– И вы говорите, что мало меня читали? – улыбнулась она.

– Мало, – вздохнул Ито, – но достаточно, чтобы понять: конечно, это научная фантастика. Наука, – убежденно произнес он, – это не только физика, математика, биология. История, этнография, социология – науки не меньше, если не больше. Даже моя любимая юриспруденция – это не просто свод законов и примечаний к ним. Судья в ходе заседания ставит эксперимент так же, как физик ставит эксперимент в лаборатории. Начальные и граничные условия, наблюдение, результат, интерпретация... Новый юридический закон – всегда тщательно обдуманый результат предыдущих экспериментов. Экспериментов над людьми, их судьбами. Прецедентное право – усвоение положительного опыта. Нет, миссис Ле Гуин, всё это наука, и вы всегда придерживаетесь выбранных законов, даже когда протагонистом у вас становится волшебник.

– Спасибо, – тихо произнесла она. – Удивительно... Говорите, вы мало меня читали, но поняли гораздо глубже моих... – она покачала головой. – В общем-то, я всегда старалась... не всегда получалось, но это другое дело... старалась придерживаться научной парадигмы: верификация и фальсификация. Убеждение читателей через мысленный эксперимент.

Ито молчал. Он умел слушать и точно знал, когда нужно вступить в дискуссию, когда промолчать, когда дать человеку выговориться и когда перебить, чтобы быть услышанным.

– Я люблю читать журнал Scientific American, – продолжала она. – Всегда хотела быть в курсе того, чем живет наука. Любая. Вы правы, судья Ито, меня больше интересуют гуманитарные науки. Однажды...

Луч солнца, пробившийся сквозь крону деревьев, упал ей на лицо, она зажмурилась, прикрыла глаза ладонью и чуть подвинулась на скамейке – дальше от судьи. Подумала, что это может быть ему неприятно, и передвинулась ближе, так, чтобы снова оказаться в тени. Ито с улыбкой наблюдал за ее попытками устроиться удобней и терпеливо ждал продолжения.

– Однажды... – напомнил он, когда она оказалась так близко к нему, что они соприкоснулись локтями.

– Это было лет семь назад. Да, точно, в девяносто пятом году. Там была любопытная статья Марка Казевича из Стэнфордского университета. Чистая физика. Квантовая. Первые несколько абзацев показались мне не очень интересными, но потом... Вы говорили об идее Айзека, и я пыталась вспомнить, что она мне напо-

минает. Сейчас вспомнила – ту статью в журнале. Когда я все-таки вчиталась... Удивительная вещь, судья! Почти фантастика, я даже подумала тогда, что такая статья была бы уместна на страницах Analog. Чтобы вы поняли, какая связь с идеей Айзека, расскажу, о чем речь, вы позволите?

– Конечно!

– Казевич рассказывал об эксперименте, который провел со своим коллегой из Нидерландов... забыла его фамилию... Нет, вспомнила! Квят. Пол Квят. А проверяли они возможность доказать в реальности мысленный эксперимент, описанный годом раньше двумя израильскими физиками. Вот их фамилии я точно не вспомню. Можно поискать в архиве журнала, сейчас это, к счастью, не так уж трудно. Вот что придумали израильтяне. Предположим, сказали они, у вас есть склад бомб, и вы знаете, что половина бомб исправна, а половина – негодна. И вы хотите отобрать годные бомбы. Есть возможность проверить, но очень странная. Все бомбы снабжены специфическими взрывателями. Достаточно хотя бы одному фотону попасть на взрыватель, – и бомба взрывается. Если она годная, конечно. Негодные бомбы не взрываются. И что получается? Если вы не осветите взрыватель, вы вообще ничего узнать не можете. А если осветите, то все годные бомбы взорвутся, и тогда какой смысл в вашей проверке? Вы окажетесь на складе с негодными бомбами, а зачем вам это?

– Действительно, – сказал Ито, когда она замолчала, чтобы перевести дух. – Вы хотите сказать, что физики придумали, как...

– Именно! Видите ли, судья, несмотря на шлейф, который за мной тянется, и на все мои награды, я всегда считала, что пишу научную фантастику, а не то, что называют фэнтези. Вы это поняли, а мои читатели – нет. Я всегда следила и сейчас слежу, что происходит в других науках, не гуманитарных: физике, биологии... Так о чем я... Этот физик из Стэнфорда, Казевич, приезжал в Портленд на конференцию, но познакомился мы, как ни странно, на симфоническом концерте. Исполняли две симфонии Бетховена – пятую и седьмую, мои любимые. Сидели мы неподалеку друг от друга, я его, конечно, не знала, а он меня узнал, в антракте подошел и представился. Очень интересный человек! Начали мы с фантастики, конечно, но я легко подбила его на разговор о физике. Тогда Казевич и рассказал о мысленном эксперименте с бомбой и том, как он, будучи в Амстердаме, участвовал в реальном эксперименте. Как он выразился: «Мы искали черную кошку в черной комнате, понятия не имея, есть там кошка или нет».

Они построили прибор, интерферометр, а вместо бомбы использовали зеркала. Одни отражали свет полностью, другие – только в половине случаев. Вам интересно, судья, что я рассказываю? Вижу, вы играете с солнечным зайчиком...

– Д-да, – несколько смущенно сказал Ито. – Наверняка это только преамбула? Хотите вы мне сказать о чем-то более интересном? Простите...

– Что вы, судья, я прекрасно вас понимаю. Хорошо, опушу подробности. Мне-то было очень интересно слушать Казевича, я ведь в молодости много общалась с Оппенгеймером, он бывал у нас в гостях в Беркли.

– Вот как? – не сдержал удивления судья. – Не знал.

– Теперь знаете, – улыбнулась она. – Так я о чем... Казевич с Квятом провели эксперимент и... как бы это сказать, чтобы вы поверили... Оказалось, что, в принципе, возможно сказать, находится ли некий предмет на вашем столе, даже если вы не получаете от него абсолютно никакой информации. Абсолютно никакой, судья! Это всё равно, как если бы вы получили точное свидетельство о преступлении и преступнике, хотя никакой реальной информации о нем у вас нет и быть не может!

– Ну... – протянул Ито и попытался щелчком пальца согнуть с колена настырного зайчика. Конечно, попытка не удалась, и судья немного подвинулся ближе к ней, а зайчик грустно перескочил с брючины на скамейку.

– Это... гм... слишком фантастично, – сказал Ито. – Я понял, что вы хотите сказать. Если результат зафиксирован...

– Об этом была статья в солидном физическом журнале<sup>1</sup>, – сухо сообщила она. – Это реальность. Можно, в принципе, засвидетельствовать некое событие, не наблюдая его и даже не представляя, происходило ли оно на самом деле.

– Хм... – Ито внимательно посмотрел на Ле Гуин. Он знал, что она не шутит, но...

– А после разговора с Казевичем, – продолжила она, – я не сомневаюсь, что это возможно. И сразу придумался сюжет. Понимаете, судья, мои мысли всегда конкретны: когда приходит в голову идея, я прежде всего представляю будущее развитие сюжета. Семь лет назад сюжет меня зацепил, я его запомнила, но работала тогда над романом «Четыре пути к прощению», и для нового сюжета в голове не оставалось места. А потом... Я не забыла, тем более, что записала идею. Роман о человеке, профессия которого – Свидетель.

– Профессия – Свидетель, – пробормотал Ито. – Хорошее название. Что бы оно ни значило.

– Когда вышли «Четыре пути к прощению», я увлеклась этнографической историей. Она меня захватила, и я перестала думать о Свидетеле, а потом на компьютере «полетел» жесткий диск, информацию удалось спасти, может, даже и записи

<sup>1</sup> Kwiat P., Weifurter H., Herzog T., Zeilinger A. & Kasevith M. Interaction-Free Measurement // Phys. Rev. Lett. 74, 4763 – Published 12 June, 1995.

► об эксперименте Квята и Казевича. Не то чтобы я забыла о задуманном романе, но были и другие идеи... А сейчас вы напомнили, когда рассказали о разговоре с Айзеком. Он-то точно за такую идею ухватился бы, это вполне в его стиле! Представляю, как Айзек обыграл бы идею профессионального Свидетеля в своей «Академии». Или в цикле о роботе-полицейском.

– Все-таки... – осторожно произнес Ито. – Профессиональный Свидетель – что вы имеете в виду?

– Это прямое следствие из экспериментов Квята и Казевича, судья! Представьте: произошло убийство. Свидетелей нет.

– Но вы сказали...

– Свидетелей нет, – повторила она. – Улики очень невнятные и не указывают ни на кого конкретно.

– Сейчас есть возможность по волосу, найденному...

– Знаю. Но и волоса не нашли. Бывает такое, что убийство есть, а улики обнаружить не удалось. Волосы, капли крови или пота... Ничего. Бывает такое, судья?

– Случается.

– Как вы поступаете в таких случаях?

– Никак, – хмыкнул Ито. – Такие дела до суда не доходят. У полиции множество подозреваемых, но улики косвенные. У прокурора нет оснований для предъявления обвинения конкретному человеку. Через определенное время, в каждом штате эти сроки отличаются, дело приходится закрывать.

– А убийца остается на свободе, – заключила она.

– Да, – вынужден был согласиться судья.

– Теперь представьте, – всё более возбуждаясь, продолжила она, – Квят и Казевич правы – а они точно правы, это был реальный эксперимент, не мысленный, как у израильских физиков. Представьте, что есть люди, способные в определенных условиях увидеть – своими глазами! – что происходило на месте преступления тогда, когда преступление было совершено. Даже если прошла неделя или месяц. Могут увидеть и дать показания в суде.

– Кто же им поверит! – воскликнул судья. – Неделя назад! Место, где на самом деле ваш Свидетель никогда не был!

– Погодите, – нетерпеливо прервала она. – Вы не будете возражать, что Квят и Казевич экспериментально доказали: можно фиксировать положение объекта даже тогда, когда о нем неизвестно НИЧЕГО.

– Ну... Я не специалист в физике...

– Но вы верите физикам-экспертам в суде!

– Они предъявляют материальные доказательства, а не...

– Вы им верите!

– Конечно. Судебная экспертиза...

– А теперь представьте... Не сейчас, а в будущем. Есть эксперимент, он подтвержден. Остальное – вопрос техники. Природного запрета не существует – иначе результат эксперимента Квята и Казевича был бы отрицательным. Согласны?

Судья пожал плечами. Сказать «да» он не был готов. Впрочем, как и сказать «нет». Он вспомнил, как десять лет назад сидел у постели Азимова и так же, как сейчас, не мог принять его идею об уликах.

– Значит, обязательно есть люди, обладающие природным даром Свидетеля. Или таких людей можно обучить... будут методики... И они смогут, как в экспериментах Квята и Казевича, наблюдать то, что, как все до сих пор были уверены, наблюдать невозможно. Выбрать место и время...

– Фантастика! – воскликнул Ито и неловким движением ладони смахнул зайчика со скамейки. Или ему показалось. Наверно, просто изменился наклон солнечного луча, но у Ито было ощущение, что это он переместил нематериальное в материальное. Он отдернул руку, а Ле Гуин, замечавшая, казалось, всё, в том числе то, что увидеть было невозможно, улыбнулась и сочувственно сказала:

– Вы всё еще думаете об уликах и не можете решить для себя, фантазировал ли Айзек или описал структуру реальности.

– Структура реальности... – тихо, вспоминая, произнес Ито. – Где-то мне встречалось такое название.

– Книга Дэвида Дойча, – напомнила она. – О том, что мир наш не совсем таков, каким мы его воспринимаем. Уверена, Айзек ее читал, и его идея, думаю, была навеяна Дойчем. А идея человека-Свидетеля... – она задумалась. – Мне эта идея очень близка вот почему. Я думала, что пишу научную фантастику, а все мои... хм... читатели до сих пор уверены: почти всё, что я написала, – чистая фантастика. На деле... Впрочем, что значит «на деле»? В реальности? В какой? В той, где реален мир Роканнона, или в той, где мир Роканнона – плод фантазии? Человек, способный лично засвидетельствовать любое произошедшее событие, реален в мире, где эксперимент с зеркалами увенчался успехом. В таком мире возможно наблюдать явление, от которого не получаешь ни одного бита информации.

– Это похоже на чудо, – буркнул Ито.

– Что называть чудом? Сверхъестественное? То есть доказанное, что это сверхъестественное, и иначе, чем действием высших сил, его объяснить невозможно в принципе? Или это всего лишь непонятное, но, в принципе, объяснимое?

Ито смущенно качал головой.

– Не думал об этом в таком смысле, – признался он.

– Потому и идея Айзека...

– Я в нее поверил! – неожиданно для себя воскликнул Ито, поставив точку в многолетнем диспуте с самим собой.

– Да, – добавил он. – Но наше законотворчество не готово принять...

– Это совсем другое дело, – усмехнулась она.

– Ваша идея универсального Свидетеля...

– Из той же серии, согласна. И относится к науке ровно в той же степени, как идея Айзека.

– Расскажите, – попросил Ито.

– Это будет повесть о человеке, который официально работает Свидетелем в федеральном суде. Таких людей не так много, они все наперечет, и каждый проводит в ходе судебного разбирательства так называемую свидетельскую экспертизу, которую суд принимает во внимание точно так же, как сейчас отпечатки пальцев или след ДНК. Герой повести занимает свидетельское место, приносит присягу, ему называют время и место. Точное время и точное место. И он погружается... Это я пока не продумала... Сон? Нет, конечно. Собственное подсознание? Может быть. Но он видит место преступления в тот момент, когда преступление было совершено. Реально видит, умение Свидетелей доказано многочисленными экспериментами, как доказано, что отпечатки пальцев – точный маркер. Свидетель-эксперт видит и слышит – узнаёт, кто и как совершил преступление. Да, он не получает ни одного бита информации, как детектор фотонов в опыте Квята и Казевича. Тем не менее он знает. И указывает: вот убийца.

– И на основании таких показаний, – с иронией произнес Ито, – судья выносит приговор о пожизненном сроке?

– Это уже зависит от вас, судья Ито.

Она поднялась и одернула юбку. Ито тоже встал и оглянулся, но зайчик исчез. Тень от дерева упала на скамью, и реальность чуть изменилась.

– Мне пора, – извиняющимся тоном произнесла она. – Всегда возвращаюсь домой к обеду.

Судья наклонился и поцеловал ей руку.

– Должен признаться, миссис Ле Гуин, – сказал он, подняв на нее взгляд, – наша встреча не была... м-м-м... случайной. Я много думал о том, правильно ли поступаю с уликами. И поговорить было не с кем. В Портленд приехал, чтобы поучаствовать в судебном разбирательстве по делу Бродецки, вы наверняка слышали об этом деле.

Ле Гуин кивнула.

– Свидетели показывали разное, – продолжал Ито, удерживая ее ладонь в своей руке. – Я не принимал решения, конечно, но наблюдать работу коллег в той непростой ситуации было очень интересно... и важно. Я знал, что вы живете в Портленде, но не хотел вам докучать просьбой о встрече. С кем, как не с вами, мог я обсудить то, что меня волновало? И мне сказали, что великая Урсула Ле Гуин почти каждый день бывает... В общем, наша встреча была не случайной, и я прошу у вас прощения за навязчивость.

– О! – улыбнулась она. – За годы жизни в Портленде я обзавелась множеством знакомых. И мне сообщили, что известный судья Лэнс Ито ищет со мной встречи. В общем, судья, мы квиты. Мне стало любопытно, и я приехала сюда, хотя сегодня не собиралась. У меня были идеи, которые...

Она замаялась.

– О Свидетеле, – кивнул Ито. – Вместо ясности, я получил новую пищу для размышлений.

– Вы подумаете об Институте Свидетелей в будущих судебных процессах?

– А вы напишете роман о том, как Свидетель спас невиновного?

– Не знаю, – смутилась она. – Может, этот персонаж появится в романе, который я сейчас пишу... Еще не решила.

– И роман этот будет называться...

– «День рождения мира», но это пока не точно.

– Непременно приобрету книгу.

– Если я включу в текст Свидетеля – а я еще не придумала, как, – то, когда книга выйдет, пришлю ее вам.

– С дарственной надписью!

– Непременно.

Они дошли до аллеи, где начинались корты, здесь ярко светило солнце, слышны были крики игроков, удары ракетками по мячам.

– Мне сюда, – показала она. – До свиданья, судья Ито. Подумайте о том, как наука и фантастика меняют мир.

– А мне сюда, – показал судья. – До свиданья, миссис Ле Гуин. Вы меня озадачили, признаю. Эксперимент Квята и Казевича, говорите? Попробую разобраться на досуге.

Они разошлись в разные стороны.

Свидетель их встречи – солнечный зайчик – тем временем вернулся на опустевшую скамью. Впрочем, это мог быть другой зайчик. Солнечные зайчики – они же неотличимы, как электроны... ♦

# Календарь фантастики

## 29 января: Что такое гастрономофон?

165 лет назад родился **Антон Павлович Чехов** (1860–1904), русский писатель и драматург, автор рассказов «Письмо к ученому соседу», «Беседа пьяного с трезвым чёртом», комической странности в трех действиях, пяти картинах, с прологом и двумя провалами «Кавардак в Риме».

На самом деле фантастики у Чехова гораздо больше — чего стоит хотя бы пародия на сочинения Жюль Верна «Летающие острова» или диалог двух лунных астрономов, разглядывающих Землю в рассказе «На Луне». В «Моей беседе с Эдисоном» описан «гастрономофон» («Ставите перед этим отверстием раскаленный уголь... закручиваете этот винтик, придавливаете эту штучку, отмыкаете ток и за сто, двести миль отсюда получаете отражение угла в увеличенном виде. На отражении вы можете варить и жарить всё, что вам угодно») и «пластинка для расследования мыслей». В письме к писательнице Елене Шавровой Антон Чехов жалуется: «Хочется про чертей писать, про страшных, вулканических женщин, про колдунов, но, увы, требуют благонамеренных повестей и рассказов из жизни Иванов Гаврилычей и их супруг».



Антон Чехов



Станислав Гагарин

## 29 января: Морской писатель

90 лет назад родился **Станислав Семёнович Гагарин** (1935–1993), русский писатель, автор цикла «Хроники полковника Леденёва», романов «Пожнёшь бурю», «Вторжение», «Страда, или Путешествие к центру Земли», «Страшный Суд», «Щедрость», «Балт-Америка».

Основной цикл Станислава Гагарина повествует о доблестных расследованиях полковника КГБ Юрия Алексеевича Леденёва. Как и полагается, главный герой в некоторых первых публикациях имел другую фамилию (например, в повести «Несчастный случай» он — Юрий Алексеевич Ветров). Геннадий Пращкевич в книге «Судовая роль» вспоминал об авторе: «Лет десять назад мы с ним познакомились в Москве. Тогда он прилетел из Владивостока, работал на рыболовецком судне; узнав, что я не раз пересекал Охотское море, одобрительно тряс мне руку: „В одном бассейне ходили“. Держал себя уверенно, любил поговорить о пришельцах, о загадочных НЛО (в семидесятых все о них говорили), в поездке по Индии держался почти надменно».

Геннадий Пращкевич в книге «Судовая роль» вспоминал об авторе: «Лет десять назад мы с ним познакомились в Москве. Тогда он прилетел из Владивостока, работал на рыболовецком судне; узнав, что я не раз пересекал Охотское море, одобрительно тряс мне руку: „В одном бассейне ходили“. Держал себя уверенно, любил поговорить о пришельцах, о загадочных НЛО (в семидесятых все о них говорили), в поездке по Индии держался почти надменно».

## 31 января: Один из первых авторов young adult

150 лет назад родилась **Лидия Алексеевна Чурилова** (урожд. Воронова; Н.Иванова; **Лидия Чарская**, 1875–1937), русская писательница и поэтесса, автор более 80 книг, в частности, сборников «Сказки голубой феи», «Вечера княжны Джавахки».

В 1911 году журнал «Новости детской литературы» назвал Лидию Чарскую «властительницей дум и сердец современного поколения девочек всех возрастов». В Стране Советов эту



Лидия Чарская

писательницу запретили, особо старались расправиться с ней Корней Чуковский и Самуил Маршак.

Мировоззрение Лидии Чарской, возможно, лучше всего раскрыто в ее короткой сказке «Три слезинки королевны». Принцессе предрекают смерть, когда она трижды заплачет, поэтому родители селят ее в богатом замке с розовыми занавесками. Случайно оказавшись за пределами замка, увидев жизнь серую и неприглядную, королевна хочет и дальше видеть правду, чтобы помочь обездоленным. Конечно, слезы проливаются и сводят ее в могилу.

## 31 января: Гротескный реалист

90 лет назад родился **Оэ Кэндзабуро** (大江健三郎, 1935–2023), японский писатель, автор романов «Объяли меня воды до души моей», «Игры современников», «Башни исцеления», «Кульбит», «Двухсотлетний ребенок», трилогии «Пылающее зеленое дерево», циклов рассказов «Женщины, слушающие дождевое дерево», «Проснитесь, новый человек!», «Как убить дерево».



Оэ Кэндзабуро

Для творчества Оэ характерно смешение мифа и реальности. Например, роман «Игры современников», в котором описана альтернативная модель истории Японии, представляет из себя замысловатое хитросплетение реализма, сюрреализма, фантастики, иронии, мистики, лирической поэзии, эпической мифологичности, архаики и постмодернизма. Сам писатель свой метод сочинения романов называл гротескным реализмом.

Для творчества Оэ характерно смешение мифа и реальности. Например, роман «Игры современников», в котором описана альтернативная модель истории Японии, представляет из себя замысловатое хитросплетение реализма, сюрреализма, фантастики, иронии, мистики, лирической поэзии, эпической мифологичности, архаики и постмодернизма. Сам писатель свой метод сочинения романов называл гротескным реализмом.

## 2 февраля: Основательница объективизма

120 лет назад родилась **Алиса Зиновьевна Розенбаум** (Анна Бинкли; **Айн Рэнд**) — Alisa Rosenbaum (Anne Binklye; **Ayn Rand**, 1905–1982), американская писательница и публицист, автор романов «Гимн», «Атлант расправил плечи».

Самый известный роман-бестселлер Айн Рэнд в то же время и самый противоречивый. Неслучайно его умудряются одновременно записывать и в утопии, и в антиутопии. Объективизм — философия рационального индивидуализма — оказал сильное влияние на либертарианское движение, но сама Айн Рэнд никогда не относилась к либертарианству и крайне отрицательно отзывалась о нем. Согласно ее идеям, разум — это не просто отличительная, но фундаментальная черта человека, благодаря которой он выживает.



Айн Рэнд

## 2 февраля: Ложь, которая нам нравится

85 лет назад родился **Томас Майкл Диш** (Том Демиджон; Кассандра Най; Леони Харгрейв) — Thomas Michael Disch (Thom Demijohn; Cassandra Knye; Leonie Hargrave, 1940–2008), американский писатель и поэт, автор романов «Геноцид», «Щенки Земли», «Концлагерь», «Эхо плоти твоей», «334», «Дом, который построил страх» (с Дж. Слейдеком под общим псевдонимом Кассандра Най), «Черная Алиса» (с Дж. Слейдеком под общим псевдонимом Том Демиджон).

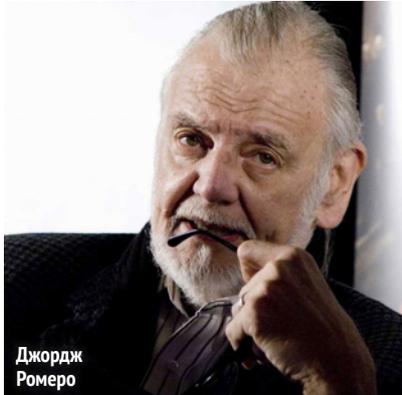


Томас Майкл Диш

► Помимо художественных вещей Томас Диш написал книгу «Мечты, из которых сделаны наши вещи: как научная фантастика завоевала мир», в которой полусерьезно предполагается, что спинной мозг научной фантастики тянется от мистификаций Эдгара Алана По к Уилли Стриберу. В частности, он писал там: «Америка — страна лжецов, и по этой причине научная фантастика имеет особое право называться нашей национальной литературой, как форма искусства, наиболее приспособленная для того, чтобы рассказывать ложь, которую нам нравится слышать, и притворяться, что мы верим». В номинации «Нон-фикшн» эта книга получила премии «Хьюго» и «Небьюла».

#### 4 февраля: Отец всех зомби в кино

85 лет назад родился **Джордж Эндрю Ромеро** (George Andrew Romero, 1940–2017), американский режиссер, постановщик кинофильмов «Ночь живых мертвецов», «Время ведьм», «Безумцы», «Мартин», «Рассвет мертвецов», «Рыцари на колесах», «Калейдоскоп ужасов», «День мертвецов», «Обезьяна-убийца», «Два зловных глаза», «Темная половина», «Вышибала», «Земля мертвых», «Дневники мертвецов», «Выживание мертвецов».



Джордж Ромеро

Из интервью со Станиславом Зельвенским:

— Ваши фильмы всегда как-то интерпретируют, разные люди по-разному. Какая ваша любимая ложная интерпретация?

— Я помню, говорили, что зомби — это «молчаливое большинство». В жизни такого не имел в виду! Вместо зомби могло быть цунами, например. Любая катастрофа. Важно, что происходит некая глобальная перемена. А история-то — про людей, про то, как они реагируют. Или не реагируют. Или реагируют глупо. А зомби — ничего такого особенного они не символизируют.

#### 4 февраля: От стихов к фантастике



Любовь Лукина

75 лет назад родилась **Любовь Александровна Лукина** (1950–1996), русская писательница, автор повестей «Каникулы и фотограф», «Сталь разящая», «Пятеро в лодке, не считая Седьмых», «Миссионеры», сборника «Когда отступают ангелы» (все — в соавторстве с Евгением Лукиным).

Еще в школе начав публиковать стихи, Любовь неожиданно для себя переквалифицировалась в автора фантастических рассказов и повестей, когда ее поэтические произведения не хотели печатать (как и у мужа, такого же поэта-неудачника). С фантастикой тоже всё было непросто. По свидетельству Бориса Завгороднего, в одной из газет им честно сказали: «Ребята, то, что вы пишете, — глумление над нашей действительностью. Добрый вам совет: никому этого больше не показывайте». Но в середине 1980-х годов поменялась страна, и в 1990-м у Лукиных вышла первая книга...

#### 5 февраля: Создатель Чужого

85 лет назад родился **Ханс Рудольф (Руди) Гигер** (Hans Rudolf (Rüdi) Giger, 1940–2014), швейцарский художник, автор альбомов «A Rh+», «Некрономикон», «Нью-Йорк Х.Р. Гигера», «Биомеханика Х.Р. Гигера», художник-постановщик кинофильмов «Чужой», «Полтергейст III», «Виды».



Ханс Рудольф Гигер

Известно, что режиссер Ридли Скотт пригласил Гигера для работы в кино после выхода книги художника «Некрономикон». Гигер рассказывал, как он создавал образ ксеноморфа: «Я сам слепил его из глины. Затем он был отлит из полиэстера. Особенно тщательно я работал над головой. Сначала я ее покрасил. Чтобы создать эффект кожи, я надевал резиновые перчатки и стирал краску. Потом я накладывал еще слои. Если бы у нас было больше времени, всё бы получилось еще лучше, но, думаю, и так вышло неплохо».



Надежда Вольпин

#### 6 февраля: Стихи и переводы

125 лет назад родилась **Надежда Давыдовна Вольпин** (1900–1998), русская переводчица произведений В. Скотта, Г. Филдинга, Э.А. По, А.К. Дойла, Г. Дж. Уэллса.

Как водится, более известно, что Надежда Вольпин была женой Сергея Есенина и матерью их сына Александра, правозащитника и выдающегося математика. Но она и сама была поэтессой-имажинистом, еще до знакомства с Есениным. А позже переводила с английского, немецкого, французского, латинского. Во время войны была в эвакуации в Ашхабаде, выучила там туркменский язык и переводила стихи туркменских поэтов. А в 1984 году издала свои мемуары «Свидание с другом».

#### 7 февраля: Невозможно ли?

140 лет назад родился **Гарри Синклер Льюис** (Harry Sinclair Lewis, 1885–1951), американский писатель, автор антифашистского романа «У нас это невозможно», антикоммунистического романа «Блудные родители», киносценария «Буря на Западе».

Роман Льюиса «У нас это невозможно», написанный в 1935 году, уже после того, как автор стал первым американским писателем, получившим Нобелевскую премию, предупреждал о том, что в США может прийти к власти режим, подобный нацистскому. Анализ того, как фашистские режимы могут дорваться до власти в значительной степени благодаря апатии «маленького человека» и бессилию общества, является ярким примером ужасного предупреждения.



Гарри Синклер Льюис

#### 8 февраля: Как быстро разбогатеть?

125 лет назад родился **Лев Васильевич Успенский** (Лев Рубус, 1900–1978), русский писатель, автор романа «Запах лимона» (с Львом Александровичем Рубиновым под общим псевдонимом Лев Рубус), повестей «Плавание «Зеты»», «Эн-два-о плюс икс дважды», «Шальмуговое яблоко» и неоконченного романа «Звезда Кси».



Лев Успенский

► Однажды, осенью 1925 года, безработный Лёва Рубинов позвонил по телефону студенту Лёве Успенскому.

— Лёва? — как всегда, не без некоторой иронической таинственности спросил он. — У тебя нет намерения разбогатеть? Есть вполне деловое предложение. Давай напишем детективный роман...

Двадцать пять лет... Море по колено! Роман так роман, поэма так поэма, какая разница?

...С той далекой поры я написал не один десяток книг, повестей, романов и рассказов. Случалось, они писались легче, случалось — труднее. Но всегда этот процесс меня устраивал, нравился мне, радовал меня. И все-таки за всю свою долгую литературную жизнь я ни разу не испытал такого удовольствия, тако-

го, почти физического, наслаждения, как в те дни, когда мы вдвоем с Лёвой Рубиновым писали свой «детективный роман».

## 8 февраля: Основатель советской мультипликации

125 лет назад родился **Иван Петрович Иванов-Вано** (1900–1987), русский режиссер, художник, сценарист, постановщик мультфильмов «Похождения Мюнхгаузена», «Сказка о царе Дурондае» (с Валентиной и Зинаидой Брумберг), «Конёк-горбунок», «Сказка о мертвой царевне и семи бо-



Иван Иванов-Вано

гатырях», «Двенадцать месяцев», «Приключения Буратино» (с Дмитрием Бабиченко), «Летающий пролетарий» (с Иосифом Боярским), «Легенда о злом великане», «Сказка о царе Салтане» (с Львом Мильчиным), стереомультфильма «Волшебное озеро».

*«Слов отточенный нож вонзай в грядущую небыль! Даешь небо!»*

Иванов-Вано всегда считался бесстрашным экспериментатором, неутомимо осваивавшим новые жанры и реанимировавшим полузабытые и как будто давно отработанные приемы. Фильм «Летающий пролетарий», сценарий к которому написал Александр Галич, был одной из самых смелых его работ. В этом фильме режиссер соединил рисунки с кинохроникой и кукольной анимацией, а элементы футуризма и социалистического реализма — с новейшими технологиями. В результате получилась невероятная красочная иллюстрация к одноименной поэме Владимира Маяковского о фантастическом будущем победившего пролетариата.

## 9 февраля: Писатель и редактор журнала

120 лет назад родился **Виктор Степанович Сапарин** (С. Викторов, С. Владимиров, С. Сабуров, 1905–1970), русский писатель, редактор журнала «Вокруг света», автор сборников «Удивительное путешествие», «Новая планета», «Однорогая жирафа», «Суд над Танталусом».

Алексей Караваев: «**Виктор Степанович Сапарин** — одна из ключевых фигур в послевоенной истории советского „Вокруг света“. Именно при нем окончательно сформировался облик журнала, произошли мно-

гочисленные преобразования, определившие стратегию развития на многие годы. Он довел тираж журнала до рекордных 2 900 000 экземпляров. Он пробил „Искатель“. Он вывел „Вокруг света“ из узких рамок „географического“ журнала, превратив в популярное издание, успешно сочетавшее высокий художественный уровень литературной части и занимательное популярное наполнение».

## 10 февраля: Столетний Дон Кихот

110 лет назад родился **Владимир Михайлович Зельдин** (1915–2016), русский актер, исполнитель ролей в спектаклях «Средство Макропулоса» (Альберт Грегор), «Физики» (Эрнст Эрнести), «Мастера времени, или Часовщик и курица» (Граф Лундышев), «Комическая фантазия» (Барон Мюнхгаузен), «Человек из Ламанчи» (Сервантес / Дон Кихот), в кинофильмах «Вино из одуванчиков» (1972; Джон Бентли), «Принцесса на горошине» (Обергофмейстер), «Тридцать первое июня» (Меллиот / Мистер Диммок), «Искушение Б.» (Пал Палыч), «Дьявольские куклы мадам Мэндилип» (Доктор Лоуэлл), «Вино из одуванчиков (Притяжение солнца)» (1997; Мистер Сполдинг), «Андерсен. Жизнь без любви» (Сторож в театре).



Виктор Сапарин



Владимир Зельдин

Юлий Гусман, поставивший к 90-летию Зельдина спектакль «Человек из Ламанчи», рассказывал: *«После каждого спектакля Владимир Михайлович поднимал руку и говорил, что я ему вернул молодость. Мне становилось жутко неудобно. Мы сыграли 200 спектаклей. Никто не верил, что будет первый спектакль „Человек из Ламанчи“, кроме наших семей и его самого. В театре думали: ну ладно, пусть дедушка потешится. Актеры со спектакля постарались слиться, потому что трудно работать с 88-летним человеком. А ему надо было танцевать, петь, сражаться... Все эти 200 спектаклей до одного были аншлаговыми, публика на люстрах висела. Не было ни одного свободного места... И такое великолепное театрализованное представление в честь его столетия получилось!»*

Владимир Борисов



### «Троицкий вариант»

Учредитель — ООО «Тровант»  
 Главный редактор — Б. Е. Штерн  
 Зам. главного редактора — Илья Мирмов, Михаил Гельфанд  
 Выпускающие редакторы — Алексей Огнёв, Максим Борисов  
 Редакторы: Юрий Баевский, Максим Борисов, Алексей Иванов, Андрей Калинин, Алексей Огнёв, Андрей Цатурян  
 Верстка — Олег Кузнецов. Коррекция — Максим Борисов

Адрес редакции 121170, г. Москва, вн.тер.г. муниципальный округ Дорогомилово,  
 и издательства: пр-кт Кулузовский, д.36 стр. 41, помещ. 1П;  
 e-mail: info@trv-science.ru, интернет-сайт: www.trv-science.ru

Использование материалов газеты «Троицкий вариант» возможно только при указании ссылки на источник публикации.  
 © «Троицкий вариант»