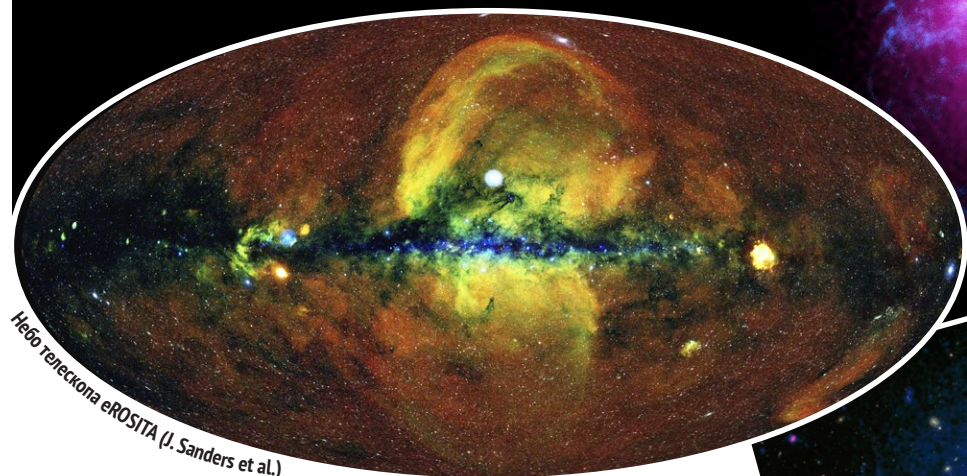


РЕНТГЕНОВСКАЯ АСТРОНОМИЯ В НАШИ ДНИ



Небо телескопа eROSITA (J. Sanders et al.)

Беседу с Юрием Поутаненом, профессором Университета Турку (Финляндия) и зав. лабораторией фундаментальной и прикладной рентгеновской астрофизики в ИКИ РАН, созданной по мегагранту, ведет **Борис Штерн**, который за двадцать с лишним лет сотрудничества с ним имеет множество написанных совместно статей.

- **Какие объекты в космосе светят рентгеном?**
- Рентгеном светит почти всё.
- **Ну как всё? Солнце очень мало светит в рентгене.**

— Да, мало. Светимость Солнца в рентгене на пять порядков ниже светимости в оптике. В 1950-х это было одной из причин скепсиса по поводу запуска рентгеновских детекторов на ракетах: если Солнце и другие звезды в рентгене светят на пять порядков ярче, чем в оптике. Теперь у нас есть чувствительные инструменты, например космический телескоп «Чандра», который видит рентгеновское излучение от других звезд, подобных Солнцу.

- **Откуда берется рентген, какой физический процесс отвечает за его излучение?**

— Зависит от источника. Если мы посмотрим на Солнце, то это тормозное излучение электронов в короне — при вспышках, за счет пересоединения магнитных силовых линий, когда ускоряются частицы. Если мы будем смотреть на другие объекты, самые многочисленные из которых в нашей галактике — белые карлики в двойных системах, то там рентгеновское излучение тепловое, точнее тормозное.

- **Здесь надо уточнить. Обычно, когда говорят о тепловом излучении, имеют в виду равновесное излучение, т. е. приблизительно чернотельное.**

— Да, в этом случае излучение не чернотельное, это тормозное излучение частиц в ударной волне, когда газ падает на поверхность белого карлика. Самые многочисленные объекты — белые карлики с магнитным полем не очень сильным, но достаточным для того, чтобы сфокусировать поток газа на магнитные полюса. А если магнитное поле сильное, то кроме тормозного излучения возникает циклотронное.

- **Добавлю: циклотронное излучение — это излучение электрона, вращающегося поперек силовых линий в магнитном поле. Частота излучения равна частоте обращения электрона и не зависит от его энергии, пока электрон не релятивистский. Она зависит только от величины поля. А есть еще синхротронное излучение.**

— Да, если возьмем компактные объекты — нейтронные звезды или черные дыры, — либо возьмем остатки взрывов сверхновых, где рас-

пространяются ударные волны, то они все тоже светят в рентгене.

Мы пока не выходим за пределы нашей галактики. Начнем, например, с нейтронных звезд. Их очень много разных типов, возьмем самые скучные.

Крабовидная туманность

- **Нет, давайте возьмем самые интересные. Краб!**

— Что ж, можно начать с самых интересных. Это пульсары, просто нейтронные звезды, часто одиночные, с достаточно сильным магнитным полем, не очень старые, достаточно быстро вращающиеся. У них вдоль магнитных силовых линий летят частицы — релятивистский пульсарный ветер, — они излучают либо синхротроном, либо излучением кривизны, за счет изогнутых силовых линий. Пульсарный ветер летит в окружающую среду, где формирует ударные волны, на которых тоже ускоряются частицы. Вокруг пульсара возникает туманность, которая по-английски называется pulsar wind nebula — туманность, образованная пульсарным ветром. Они очень интересные, есть Краб...

- **Да, и его великолепные снимки «Чандры» — рентгеновские!**

— И если посмотреть на эти красивые картинки, то там видна туманность — остаток вспышки сверхновой 1054 года. Там в оптике видны всякие линии, в частности кислорода, а вблизи пульсара «Чандра» видит структуру, образованную ветром. Там даже джет есть! Рентгеновское излучение от Крабовидной туманности сильно поляризовано, это означает, что у приходящих оттуда электромагнитных волн есть выделенное направление осцилляций. Степень поляризации — 19%.

- **Это линейная поляризация из-за вращения электронов поперек магнитных силовых линий?**

— Да, возникает линейная поляризация поперек магнитного поля. Поляризация 19% означает, что в области, откуда исходит излучение, магнитное поле достаточно хорошо ориентировано. Теоретический максимум — около 75%, когда есть однородное параллельное магнитное поле, 19% — это немало.

- **Давай уточним. Там есть разные компоненты — есть джет, и есть тороидальное магнитное поле. Поляризация в основном из-за тороидального или из-за джета?**

Скопление галактик Coma. Наложение оптического и рентгеновского снимков

— Этого мы не знаем. Угол поляризации, по-моему, вдоль джета. Хотя точно не помню.

- **Если вдоль джета, наверное, это все-таки тороидальная компонента. Или она усредняется.**

— Не совсем усредняется. Это зависит от того, под каким углом мы на нее смотрим. Если плашмя — поляризация будет нулевой, если сбоку — максимальной. Но это уже детали.

Кроме пульсаров, которые сами по себе интересны, есть разные объекты, которые мы наблюдаем с помощью IXPE (Imaging X-ray Polarimetry Explorer), в котором наша группа играет активную роль. Сейчас наблюдаем разные компактные объекты именно в поляризованном рентгене. Это стало возможным впервые за последние сорок лет — предыдущая обсерватория была OSO-8 (Orbital Solar Observatory). Нынешний поляриметр в сто раз чувствительней. То есть теперь мы можем изучать те же объекты гораздо лучше.

- **То есть то, что вы делаете, — это фактически «щупаете» геометрию магнитного поля в объектах?**

— Геометрию магнитного поля, геометрию объектов.

- **Вы можете разрешить поляриметром часть объекта, например часть Крабовидной туманности? Наблюдать не всю, а часть?**

— Да, благодаря тому, что зеркала в IXPE имеют достаточно хорошее угловое разрешение — порядка 30 угловых секунд, — это возможно. Мы не можем сделать такие же красивые картинки, как «Чандра», поскольку разрешение в десятки раз хуже, но отдельные части можем померить.

- **Какие у вас энергии?**

— От 2 до 8 кэВ.

- **А у «Чандры» меньше энергия?**

— Меньше, но до 6 кэВ дотягивает, т. е. диапазоны перекрываются.

- **Как понимаю, чем меньше энергия, тем лучше разрешение получается, поскольку тем больше возможный угол отражения.**

— В основном, разрешение определяется качеством зеркал, т. е. суммой, которую вы готовы заплатить. «Чандра» стоила миллиард в деньгах двадцатилетней давности, а IXPE всё-про-всё стоит 180 млн долл.

Окончание см. на стр. 2

АНО «ТРОИЦКИЙ ВАРИАНТ»
БЫЛА ПРИНУДИТЕЛЬНО ВНЕСЕНА
МИНЮСТОМ В РЕЕСТР «НЕКОММЕРЧЕСКИХ
ОРГАНИЗАЦИЙ, ВЫПОЛНЯЮЩИХ ФУНКЦИИ
ИНОСТРАННОГО АГЕНТА» 24.03.2022

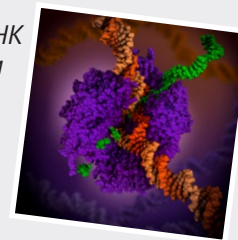
В номере

Шумы могут быть разными...

Что можно узнать из шума рентгеновских пульсаров, рассказывает **Александр Муштуков** — стр. 4

Как образовались первые цепочки РНК

О новой теории формирования РНК на вулканическом стекле **Алексей Кудря** беседует с **Константином Лесковым** — стр. 6–7



«Есть же аналоги у русского языка»

Ирина Фуфаева о новых инициативах российских чиновников и о языковой стихии — стр. 7

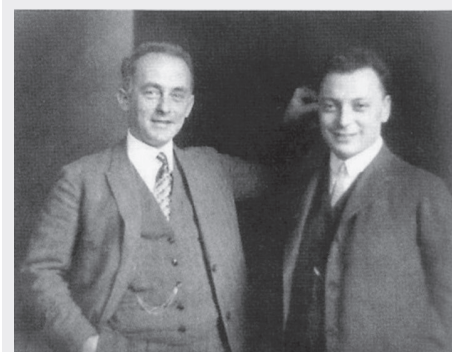
Радиоактивные лавы Чернобыля



О необычном преобразовании части ядерного топлива ЧАЭС рассказывает **Борис Бураков** — стр. 8–9

Взгляд из будущего на «Регистр НФ-идей и ситуаций»

Об эволюции идей в науке и научной фантастике рассуждает **Павел Амнуэль** — стр. 10



Из истории создания квантовой механики

Евгений Беркович о непростой истории сотрудничества Макса Борна и Вольфганга Паули — стр. 12–13, 15

Бумажные и настоящие бронежилеты

Ольга Матвеева подводит скандальные научные итоги иммунизации «ЭпиВакКороной» — стр. 16

Актуальные новости и обзоры текущих событий — в наших аккаунтах
t.me/trvscience, vk.com/trvscience,
twitter.com/trvscience

Окончание. Начало см. на стр. 1

— Раз заговорили про методику. Большие энергии, скажем, сотни кэВ, отражать зеркалами уже невозможно. Там приходится прибегать ко всяким ухищрениям типа поглощающих кодируемых масок. Где та граница, когда еще можно использовать зеркала?

— Существует телескоп NASA Nustar, запущенный в 2012 году, где стоят зеркала со специальным покрытием, которые работают до 70 кэВ. Это нынешний рекорд. У них тоже хорошее разрешение — десятки угловых секунд. А выше приходится использовать ухищрения — разные маски, которые по тени позволяют определить положение источника. Приходится решать сложную математическую задачу по построению карты.

— Пока мы не вышли за пределы Галактики. Есть странные объекты — большие дуги на небе, которые светят, в том числе в рентгене.

— Есть разные дуги. Как мы говорили, есть остатки сверхновых — там есть ударные волны, ускорение частиц, которые светят синхротроном (большие дуги получаются от близких остатков сверхновых. — Б.Ш.). Недавно IXPE наблюдал остаток сверхновой Кассиопея А, статья послана в журнал и лежит в arXiv.org. Там поляризация оказалась маленькой. Есть статья про плерион (т.е. туманность вокруг пульсара) в созвездии Парусов, она не лежит в arXiv.org, поэтому я не могу комментировать.

— Она такая же, как Краб, как я понимаю.

— Поляризация оказалась даже выше. Статья послана в *Nature*, но пока нет отзыва рефери я не могу давать конкретных цифр.

— А вот эти здоровенные дуги в полнеба?

— Это остатки взрывов сверхновых. Или, если центр Галактики был активен сотни тысяч лет назад, то выдуваются пузыри, заполненные частицами больших энергий, которые затем всплывают под действием силы Архимеда, расширяются, поднимаются над плоскостью Галактики. Такие пузыри были открыты гамма-телескопом «Ферми», они же видны на карте неба в микроволновом излучении построенной обсерваторией «Планк», и самое последнее — они видны на карте немецкого телескопа eROSITA на борту российской обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма» (СРГ).

— Видимо, это те же самые пузыри Ферми, только расплзшиеся с учетом того, что eROSITA видит их на гораздо более низких энергиях.

— Да, они пошире, но геометрия та же самая. Это была непростая задача — увидеть их в данных, — поскольку пузыри слабые, и они прячутся на фоне огромного количества более ярких источников и структур.

Черные дыры

— Теперь про черные дыры.

— Начнем с черных дыр в нашей галактике. Это остатки очень массивных звезд — больше 20–30 масс Солнца. Самая известная из них — Лебедь X-1. Она находится в паре со звездой-сверхгигантом, которая почти заполняет свою полость Роша, т.е. газ почти свободно перетекает на черную дыру (фокусируемый ветер). При приближении к черной дыре газ образует аккреционный диск и нагревается нагревается до десятка миллиона градусов, поэтому светит в рентгене. Но иногда этот и подобные ему объекты переходят из одного состояния в другое, из «мягкого» в «жесткое» и обратно. В жестком состоянии температура — миллиард градусов.

— Но это не тепловое равновесие, важно подчеркнуть.

— Да, не тепловое равновесие — оптически тонкая плазма. Здесь как раз работает комптоновское рассеяние на очень горячих электронах. Фотоны из аккреционного диска многократно рассеиваются на горячих электронах,

получается спектр, простирающийся до сотен килоэлектронвольт (кэВ). В мягком состоянии максимум потока энергии идет на кэВе.

Есть рентгеновские источники более-менее постоянные. К ним относятся наиболее известные Лебедь X-1, Лебедь X-3. Кроме того, есть очень много транзитных источников, они большую часть времени не видны, но иногда вспыхивают. В них аккреция может идти всё время, вещество скапливается в диске и не падает на черную дыру, но потом оно начинает аккрецировать, нагревается, и возникает вспышка. При этом светимость может возрасти на шесть порядков. Когда источник слабый, то его еле-еле видит «Чандра», а при вспышке он виден любым детектором рентгеновского излучения, который летает в космосе.

— Кстати, Лебедь X-1 тоже вспыхивает, но не так сильно — на порядок. Это то, что мы нашли!

— Да, мы нашли, уже лет двадцать назад, и написали статью, что иногда Лебедь X-1 повышает свою светимость в десять раз. Но это редкие события.

— Да, наверное, какие-то взрывы, связанные с аккрецией.

— Действительно, никто не понимает, откуда они берутся, и мы не понимали, когда писали статью. А транзистенты, действительно, очень интересны. У них светимость меняется на много порядков. Во время активной фазы, которая длится несколько месяцев, они могут переходить из одного состояния в дру-



Крабоподобная туманность. Снимок космического телескопа «Чандра»

гое — меняются спектры, меняются все свойства. Мы сейчас со своим рентгеновским поляриметром ждем, когда такое событие произойдет, чтобы пронаблюдать объект в разных состояниях. Но пока такое событие не произошло — спутник летает полгода, нам пока не повезло. Но всё впереди, за плановый срок — три года — событие должно произойти.

— Подытожим по поводу излучения аккрецирующих черных дыр. Там, как я понимаю, две компоненты — квазитепловая, т.е. комптон на электронах, которые имеют распределение, близкое к максвелловскому, плюс нетепловой хвост, связанный с ускорением частиц.

— Там, по сути, три компоненты. Есть еще тепловое излучение аккреционного диска, оно достаточно плотный, оптически толстый и излучает примерно как черное тело на килоэлектронвольте.

— Это как раз редкий случай, когда мы видим черное тело, излучающее в рентгене.

— Я забыл про еще один интересный объект, который почти постоянен, его кодовое название GRS1915 — это означает Granat Source, он был открыт российской обсерваторией «Гранат». Объект вспыхнул в 1992 году, он породил новое направление: микроквазары. В них наблюдаются релятивистские джеты, такие же, как в квазарах, хотя они массой в миллион или даже в миллиард раз меньше.

— Лебедь X-1 тоже имеет какой-то джет, наверное, хвильный.

— Да, в жестком состоянии показывается некий джет, но его скорость не-

понятна, там нет таких выбросов, по которым можно померить скорость движения. Какое-то слабо релятивистское течение.

— Как ведет себя в рентгене знаменитая черная дыра в центре Галактики, Стрелец А*?

— Есть такая черная дыра!

— Есть даже картинка!

— Да, появилась картинка. До этого ее наблюдали десятки лет. В рентгене там мало чего видно — переменный источник, иногда 10^{33} эрг/с, иногда 10^{35} .

— То есть время от времени туда что-то падает.

— Да, есть аккреция, очень слабая. Достаточно сказать, что эддингтоновский предел светимости для такой массы — порядка 10^{45} эрг/с, а здесь светимость на 10–12 порядков меньше.

— Собственно, это светимость Солнца, 10^{33} эрг/с.

— Да, правда, бывает и в сто раз больше. Согласно одному из предположений, которое разрабатывалось в ИКИ Рашидом Сюняевым и Евгением Чуразовым, центр нашей галактики сотни лет назад был активен, и рентгеновское излучение было гораздо сильнее, чем сейчас. Это излучение до сих пор можно наблюдать в виде эха, отраженного от молекулярных облаков, которые находятся как раз в сотнях световых лет от центрального источника. И сейчас это будет проверяться. Чем это предположение обосновано? Если мы смотрим на молекулярные облака

охлаждается и тем самым определять ее структуру. Можно вытащить много физики, если иметь хорошие данные.

За пределами нашей галактики

— Теперь идем за Галактику.

— Самые интересные объекты для меня — это сверхмассивные черные дыры. В центре почти каждой галактики находится очень массивная черная дыра — миллионы, а иногда и десятки миллиардов масс Солнца. Некоторые из них скучные — на них ничего не падает, — некоторые, на которые падает много вещества, очень интересные: там образуются аккреционные диски, джеты, вылетающие со скоростями, близкими к скорости света. Они светят от радио до гамма-диапазона. Самые известные из них — это блазары, чьи джеты направлены прямо на нас. Это фантастика! Они видны в рентгене и гамма до красных смещений порядка четырех.

Кроме сверхмассивных черных дыр, среди интересных рентгеновских объектов я бы назвал скопления галактик. Они не меняются, и в этом смысле скучные, но это самые массивные рентгеновские источники во Вселенной. Скопления заполнены теплым газом с температурой около 10 кэВ, это сотни миллионов градусов.

— Пару слов про физику. Блазары — это синхротрон плюс обратный комптон: электрон высокой энергии толкает фотон, переводя его в рентгеновский или гамма-диапазон. А в скоплениях галактик?

— В скоплениях тормозное излучение. Там тепловая плазма с температурой порядка вириальной.

— Поясню: вириальная температура — это скорости порядка орбитальной вокруг тела такой массы при размерах орбиты порядка размеров скопления.

— Да, т.е. если скорости галактик порядка тысячи километров в секунду, то и у атомов такие же характерные скорости, что соответствует температуре порядка 10 кэВ. Значит, всё скопление будет светить в рентгеновском диапазоне. В видимой Вселенной таких скоплений — порядка сотен тысяч; как раз одна из задач обсерватории СРГ — определить их положение. Телескоп eROSITA заточен как раз на это, что имеет прямое отношение к космологии.

— Как из них сделать космологию? Из одних рентгеновских данных никакой космологии не получишь. Надо еще измерить обычными большими телескопами красное смещение каждого из них, определить, как далеко оно находится, и тогда уже можно строить распределение Хаббла. Отсюда может получиться дополнительная точка опоры для космологии. Насколько я слышал, это уже пытались делать больше десяти лет назад.

— Насколько я помню, докторская диссертация другого сотрудника ИКИ Алексея Вихлинина, который сейчас работает с другой рентгеновской обсерваторией, LYNX, посвящена примерно этому. Там использовались данные рентгеновской обсерватории ROSAT. Здесь чувствительность другого порядка.

Вот эти два типа внегалактических объектов, по-моему, наиболее интересные. Наверняка есть и другие интересные, но эти самые яркие.

— Мое впечатление по поводу астрофизики высоких энергий. Инструменты развиваются, но всё равно остается впечатление стагнации. Данных много, понимания мало.

— Нужно понимать, что всей рентгеновской астрономии лишь 60 лет. Как раз в этом году можно отметить: в 1962 году был открыт Скорпион X-1.

— Но точная космология еще моложе.

— Ну, все-таки Хаббл открыл разбегание галактик почти сто лет назад, так что она старше. Все-таки прогресс в рентгеновской астрономии большой.

— Прогресс в данных налицо, прогресс в понимании — ну, есть какой-то...

— Новые источники, новые явления...

— Как запускаются джеты?

— Есть очень хорошие симуляции на эту тему.

— Джеты запускаются диском или черной дырой?

— Я думаю, что и тем, и другим.

— То есть ответы какие-то появляются, но пробиться можно только суровой симуляцией.

— Но по крайней мере в данных прогресс большой. Например, Rossi X-Ray Timing Explorer, у этой обсерватории площадь рентгеновского детектора около 6 тыс. см², она регистрировала всякие удивительные эффекты вокруг черных дыр и нейтронных звезд, в частности, килогерцовые квазипериодические осцилляции. Может быть, мы до сих пор их плохо понимаем, хотя у нас есть модели на эту тему. Но это удивительные данные, которые говорят о динамике газа около компактного объекта. Тысяча герц!

— Тысяча герц — это порядка частоты орбитального вращения?

— Да, это орбитальный период на близкой орбите вокруг нейтронной звезды. В том же Скорпионе X-1 наблюдаются такие осцилляции. Всё равно мы мало их понимаем, хотя написали пару статей на эту тему.

— Ускорение частиц в джетах — то, над чем мы, кстати, бились в свое время, — там есть какой-нибудь прогресс в понимании?

— В понимании — до сих пор нет. Люди по-прежнему обсуждают внутренние ударные волны, пересоединение магнитных силовых линий.

— Это всё и тогда было.

— И тогда было. Появились более подробные симуляции, но до сих пор нет ответа, какой механизм является основным для излучения блазаров. Сейчас делаются всякие симуляции неоднородных ударных волн, как раз Александра Веледина из нашей лаборатории в ИКИ занимается этим. Есть очень много идей, но, по моему, ответа до сих пор нет. Может быть, данных не хватает.

— А тут даже непонятно, какие данные могли бы что-то прояснить. Спектры хорошо промерены, временная переменность — тоже. Мне кажется, это как погода: данных полно, а промоделировать сложно, поскольку сама система сложная и большая. Сложнопредсказуемая и неустойчивая магнитогидродинамическая система. Когда я говорил про стагнацию, я имел в виду именно это — что здесь объективно очень трудно пробиться. Здесь нет чистых процессов.

— Да, астрофизика в этом смысле сложная. Есть чистые объекты, например когда по системе двух пульсаров можно изучать эффекты общей теории относительности с точностью до процента. Это как чистая физическая лаборатория. А в основном астрофизические объекты «грязные». Очень много разных взаимодействий и процессов, из-за чего очень сложно вытащить что-то.

— Пожалуй, мы наговорили достаточно, пора переходить к заключению.

— Что добавить в заключение? Рентгеновская астрономия продолжает развиваться. Запущены новые спутники — фантастически точные инструменты, среди них IXPE и СРГ, о которых мы говорили. Ожидается колоссальный объем новых данных — петабайты, которые надо обработать и осмыслить. Требуются не только финансовые, но и человеческие вложения, чтобы были люди, которые всё это обрабатывают, нужны теоретики, которые поспевают бы за потоком данных с их осмыслением. Будем надеяться, что прогресс будет продолжаться.

Видеоверсию беседы можно посмотреть на странице *ТрВ-Наука* в YouTube: youtu.be/watch?v=d5GENJWlfWE



Леонид Ашкинази

Как правильно плакать о судьбе образования (методические заметки)

Леонид Ашкинази

Почти все, кто пишет и говорит про образование, плачут. Две трети льют слезы вообще, две трети — по конкретному поводу. Треть предлагает собраться и всё обсудить, треть предлагает плакать, вздымая децибелы и ориентируя диаграмму на правленности плача вверх, конкретно — по вертикали.

Что касается собственно плача, то он бывает разный. Элементарный плач: образование плохое, ученики плохие, нас никто не любит. Временной: образование ухудшилось, ученики ухудшились, любовь была, но увяли розы. Причинно-следственный — образование ухудшилось, потому что ученики... или наоборот — ученики, потому что образование. Тут каждый пункт можно оспорить; вот хотя бы один, весьма популярный — про хорошее советское образование. Добрые граждане заряжали воду от пронизывающего взгляда из телевизора, жили и живут мифами, верили и верят лжи, — это всё от хорошего образования? Ракеты летали — это, конечно, говорит кое-что об образовании, но какой ценой это достигалось?

Про что угодно можно сказать: могло быть лучше, могло быть хуже; как измерять? Мы плачем, не договорившись о шкалах и метрологии, — значит, мы не хотим что-либо понять и даже не хотим что-либо кому-либо сказать. Мы просто хоти-и-им у-у... ну, то есть поплакать. Публично порасчесывать. Ощутить зареванное плечо подруги. У обезьян это называется груминг; приятная вещь, знаю по себе.

Наука в СССР существовала в значительной мере благодаря мечте о мировом господстве, да и образование — тоже. Умным человеком труднее управлять, умный человек власти не нужен, от него одни хлопоты. Так зачем он был нужен? Когда-то

была мечта о том, чтобы всех ослепить. Светлая мечта, кто б сомневался. Судя по книгам и рассказам, это действительно когда-то было; но что было потом — это мы уже сами знаем. Наркотики — «нынешнее поколение будет жить при коммунизме» и «мир во всем мире» — плавно заменились на «психологию осажденной крепости» и «мы им всем покажем». Телевизор не победил холодильник полностью, но обеспечил продолжение существования режима. Плюс, конечно, тотальная цензура, тюрьмы, лагеря, глушение радио и далее со всеми остановками. Результат — люди плохо жили и, в общем, не надеялись на улучшение; то есть предпочитали о нем не думать. Социология говорит, что россияне тоже предпочитают не думать о завтрашнем дне.

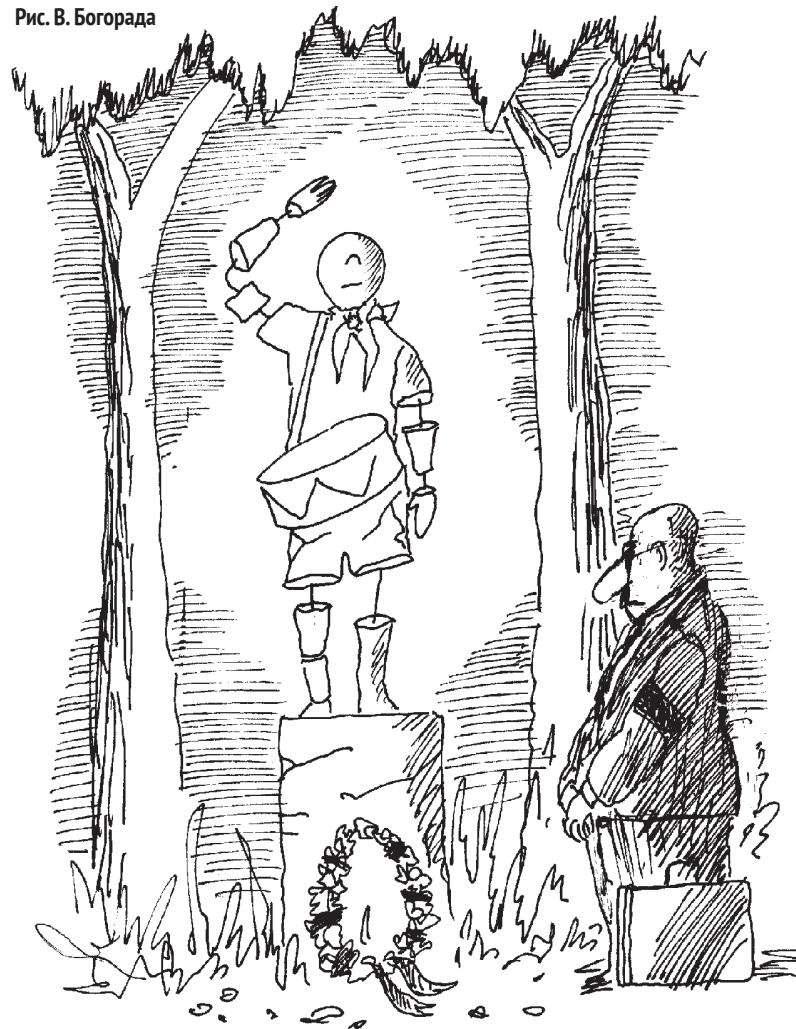
По причине такого понимания люди хорошо пили и плохо работали. В.И. Ленин гениально сказал, что победа общественного строя определяется производительностью труда. Но не додумал мысль до конца, а жаль. Додумал бы — сообразил, при каком строе она выше — сэкономили бы сто лет и спасли бы десятки миллионов жизней. Из-за того, что плохо работали, а половину сделанного выкидывали в помойку, проиграли экономическое соревнование. Мы просто заплатили за свою наркоманию, попутно — проели базу, то есть обокрали своих детей. Но зато были нужны наука и образование — делать бомбу. Причем и для кое-каких реальных делишек, и для, опять же, наркомании «осажденной крепости». Вот так всё оказалось связано, как резонансы в Солнечной системе. Ну да, мы в ней и живем. Именно этому мы обязаны существованием и нашей работы, и нашего отношения к ней. Некоторые — прямо, остальные — косвенно.

Попробуем подойти к плачу научно. Сначала посмотрим на фон, например на общемировой. Наука нужна для производства, а оно — для удовлетворения потребностей людей. А также для обеспечения безопасности одних стран от некоторых других. Так что наука в обозримой перспективе еще будет нужна, и для желающих заниматься наукой место и время еще есть. Соответственно, для желающих давать и получать образование — тоже. Иногда — когда смотришь, что говорят и пишут, — кажется, что мир катится в пропасть, что образование умирает во всем мире. Но это, очевидно, не так — наука познает природу, инженерия создает новое. А что массовики-затейники из СМИ говорят и пишут бред — так это функция распределения расширяется. Плохо ли это?

Теперь посмотрим локальнее. Если нам кажется, что педагогов любят меньше, то вопрос: это какая из любовей? Их несколько, то есть по-крупному — три; у них разные источники — власть, родители, ученики — и разные формы. Далее: это именно нас любят меньше, или всех? — судя по ценам на еду и коммунальным платежам? А если всех, то не платим ли мы все опять за наркотики а-ля «зато мы делаем ракеты» и «мы их всех»? Конечно, мы платим за вчерашнюю дозу, и полученную не только нами, и спросить уже, в основном, некого. Но ведь и наши внуки с нас не спросят, когда нас не будет, так что всё справедливо. Хотя дети иногда спрашивают...

Если мы видим, что общий тренд таков, что мы не можем работать, принося пользу и получая удовольствие, то надо делать выводы. Решение, может быть, принять трудно или страшно, и этого мы не можем требовать — ни от себя, ни от других; но ясно понимать мы должны, и можем — не тре-

Рис. В. Богорада



бовать, но — хотеть этого от наших учеников. Кстати, если мы сами что-то ясно поймем, нам и правильно поступить будет легче.

Далее, разброс по пространству и флуктуации во времени. Может быть, просто монетка упала так, что мой вуз сожрали, но рядом есть другой, которому повезло больше? Может быть, с моей школой всё плохо, а что с соседней? Может быть, мои лекции в Интернете соберут больше слушателей, чем было раньше, и — кстати — более заинтересованных? Что на самом деле я могу изменить и какой ценой? Не направляя бесполезный плач 130 дБ основным лепестком диаграммы вверх, «к ступне Великого и могучего Утеса»?

Теперь еще локальнее: какие школьники и студенты и кого к чему мы готовим? Про «клиповое мышление», «цифровой идиотизм» и влияние

смартфона на успешность решения задач мы все читали. Но если наука и, следовательно, серьезное образование нужны не всем, то, может, и не надо так плакать? Мы же хотим, чтобы наши ученики были, скажем осторожно и неуверенно... скажем так, счастливы? Учить их всех поголовно высокой физике (математике, химии и т.д.) — обречь на комплекс неполноценности, то есть комплекс ненужности в обществе? То есть нужно понимать, в каком мире им жить, и предоставлять им честный и понятный выбор. Тогда и плакать придется меньше. А сэкономленное время можно потратить так: утереть скупые мужские, горькие женские и светлые детские слезы, да и написать задачник или учебник по своему предмету.

А теперь — дискотека, то есть... домашнее задание! Найти в этом тексте цитаты из Стругацких. ♦

Намеки на сверхновую 1054 года нашли на византийских монетах

Историческая сверхновая SN1054 была, пожалуй, одним из самых захватывающих астрономических событий всех времен. И этот взрыв в конечном итоге сформировал то, что сегодня нам известно как М1 — Крабовидная туманность. Вспыхнувшая в 1054 году, эта сверхяркая звезда остается одной из ярчайших задокументированных в летописях сверхновых в недавней истории Млечного Пути. Однако ее почему-то отмечала в своих записях лишь половина цивилизованного мира.

Как известно, о SN1054 сохранилось множество сообщений астрономов с Востока, особенно из Китая, Японии и исламского мира, однако почти полностью отсутствуют аналогичные упоминания в западных источниках. В астрономическом сообществе на протяжении десятилетий идут дебаты по вопросу странного отсутствия сведений о SN1054 в христианской Европе. Не исключено, что ученые тогда опасались упоминать о каких-либо изменениях в том месте, где подобных изменений быть не должно, где всё всегда должно оставаться совершенным и непокосновенным, — на небесной сфере. Сомнения в теологической доктрине, господствовавшей в христианском мире, могли привести как к отлучению от церкви, так и прямо на костер.

Однако теперь первые намеки на наблюдения в Европе исторической сверхновой SN1054, остаток которой сейчас наблюдается в виде Крабовидной туманности в созвездии Тельца, возможно, обнаружены теперь на византийских

монетах, отчеканенных во времена императора Константина IX Мономаха. По крайней мере, так утверждает международная группа ученых, подготовившая к публикации статью в *European Journal of Science and Theology*. Ее препринт размещен в репозитории arXiv.org¹.

На специальных выпусках монет с Константином IX Мономахом Class IV обнаруживается странная деталь — сразу две звезды, что отличает их от стандартных «однозвездочных», выпускавшихся во времена правления этого монарха. Считается, что Class IV были отчеканены между летом 1054-го и весной 1055 года. На них присутствуют две звезды по обе стороны от головы Константина. Одна из этих звезд, очевидно, символизирует Венеру, Утреннюю звезду; сама же голова монарха, как полагают, представляет собой Солнце. Однако еще одна звезда потенциально может намекать

на «звезду-гостью» (как ее называли китайские наблюдатели) — сверхновую SN1054. Более того, размер звезд несколько отличается на 36 монетах одного и того же года выпуска, которые исследователи отыскивали в музеях по всему миру. Предполагают, что изменения размеров звезды могли как раз отражать постепенное затухание сверхновой на небе в тот период.

Если всё так и есть, то это, конечно, весьма тонкий, но эффектный намек на поразительную астрономическую реальность, наблюдаемую в то время у людей над головами. Как и во многих подобных случаях, связанных с древней историей, здесь трудно отделить факты от предположений. Сами авторы отмечают, что они не знают, сколько было отчеканено подобных монет Class IV, их точные даты выпуска, нет конкретных доказательств того, что вторая звезда действительно представляет собой столь фантастическое астрономическое событие. Но многим романтикам хотелось бы думать, что тот, кто принимал решение о чеканке подобных монет, пошел на огромный риск для того, чтобы ученые спустя более чем тысячелетие наконец-то поняли, что европейские наблюдатели ви в те времена не были слепы. Безусловно, это любопытная история, даже если ее фактическая основа до сих пор подвешена в воздухе.

Максим Борисов

Монеты, отчеканенные во времена правления Константина IX Мономаха (Filipovic et al)



¹ arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2206/2206.00392.pdf; universetoday.com/156416/do-ancient-coins-record-the-supernova-of-1054/

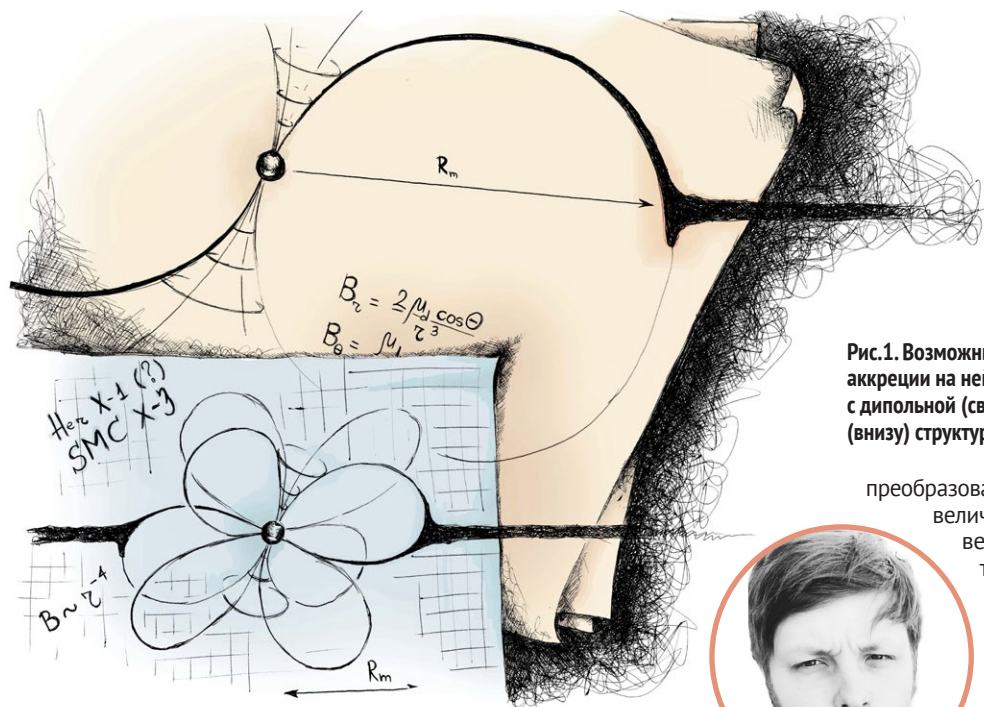


Рис.1. Возможные варианты геометрии аккреции на нейтронную звезду с дипольной (сверху) и квадрупольной (внизу) структурой магнитного поля

преобразование Фурье. Абсолютная величина фурье-образа, возведенная в квадрат, дает так называемый спектр мощности (PDS, power density spectrum). Спектр мощности показывает, каким образом общая мощность процесса распределяется по разным фурье-частотам f или же по разным характерным временам $t=1/f$. Спектры мощности по сути своей очень похожи на более привычные кому-то спектры электромагнитного излучения, с той разницей, что последние строятся на основе переменного во времени электромагнитного поля.

Вернемся, однако, к пульсарам. Пример настоящих спектров мощности шума потока излучения от одного из рентгеновских пульсаров приведен на рис. 3 (обратите внимание, что по вертикальной оси отложен спектр мощности, умноженный на частоту). Из спектров видно, что в шумах хорошо представлены низкие частоты и спектры мощности обваливаются на высоких частотах. Характерные частоты, на которых происходит обвал, меняются от источника к источнику. Даже для одного и того же объекта, как это видно из рис. 3, положение завала может меняться в зависимости от яркости объекта. Тем не менее, сам факт обвала спектра мощности на высоких частотах остается неизменным: **все пульсары молчат на достаточно высоких частотах.**

В чем же физика, стоящая за возникновением стохастической переменности наблюдаемого потока? Рентгеновская светимость пульсаров пропорциональна темпу аккреции на поверхность нейтронной звезды. Стало быть, флуктуации рентгеновского потока отражают флуктуации темпа аккреции на звезду (мы помним, что весь рентген рождается около поверхности). Если по пути от границы магнитосферы к нейтронной звезде флуктуации темпа аккреции никак не искажаются, то наблюдая флуктуации светимости, мы, по сути, видим флуктуации темпа аккреции на границе магнитосферы. Природа же флуктуаций темпа аккреции в диске кроется в самом механизме работы аккреционного диска.

Образование аккреционных дисков связано с ненулевым моментом импульса вещества, падающего на нейтронную звезду, что неизбежно в двойных системах. Вещество с ненулевым моментом собирается в диск вокруг компактного объекта, где по туге закрученной спирали движется внутрь. Для продвижения внутрь вещество должно постепенно терять угловой момент. Потеря углового момента происходит из-за вязкого трения между соседними кольцами диска, которые вращаются с немного разными угловыми скоростями. Чем сильнее трение, тем эффективнее веществу удастся избавиться от своего углового момента, и тем быстрее оно может сваливаться на нейтронную звезду. Для обеспечения наблюдаемых в рентгеновских двойных темпов аккреции обычной молекулярной вязкости явно не хватает. По всей видимости, вязкость в дисках рентгеновских двойных имеет турбулентную природу [4]. Однако тур-

О чем шумят рентгеновские пульсары

Александр Муштуков, PhD, Steven Hawking fellow
(Оксфордский университет, Великобритания)

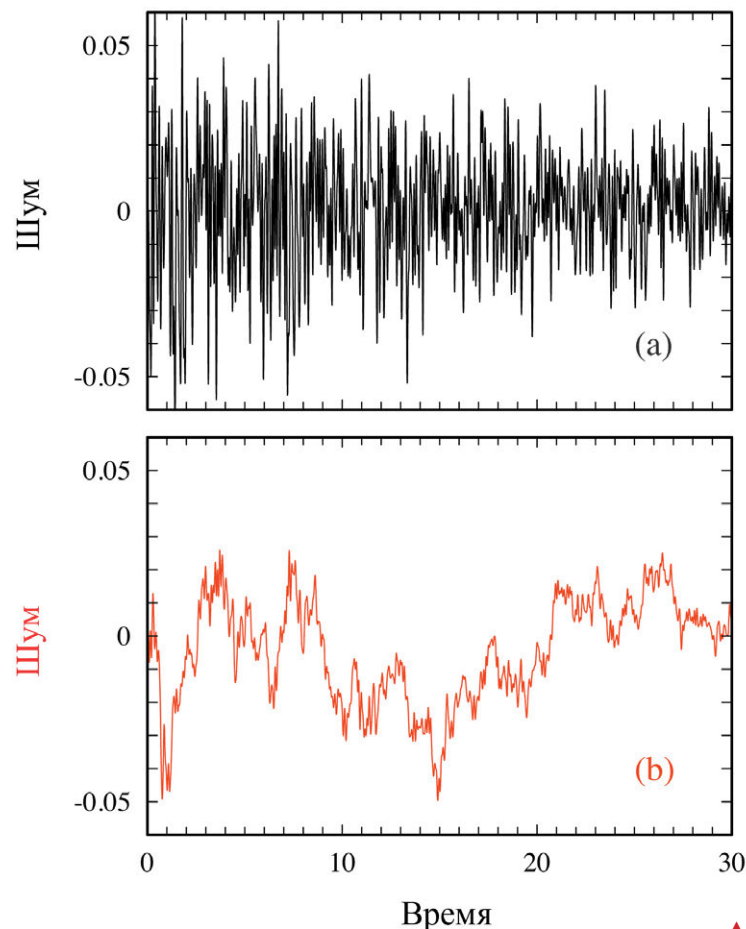


Рис.2. Примеры шума с разными характерными временами переменности

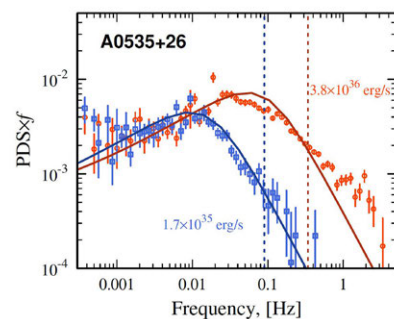
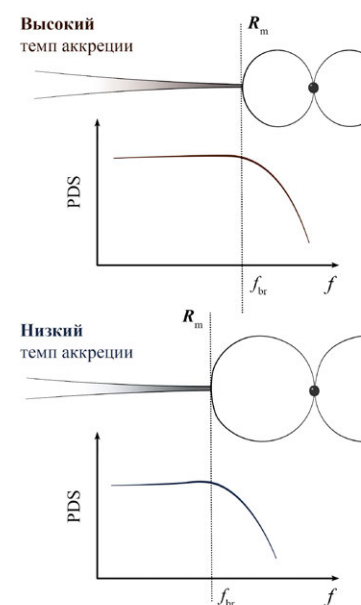


Рис.3. Спектры мощности шума, наблюдавшиеся в рентгеновском диапазоне от пульсара A0535+26 [8] (справа). Спектры данные синими и красными точками соответствуют меньшему и большему темпам аккреции соответственно. Смещение завала в спектра мощности в сторону высоких частот в ярком состоянии связано с тем, что диск подбрасывается ближе к нейтронной звезде при больших темпах аккреции (см. схемы слева, [2])

булентность сама по себе является стохастическим процессом и, обеспечивая вязкость в аккреционном потоке, с неизбежностью делает ее флуктуирующей. Флуктуации вязкости, постоянно возникающие по всему диску, порождают локальные флуктуации темпа аккреции и плотности. Далее эти флуктуации вместе с веществом распространяются в сторону нейтронной звезды, формируют шум на внутренней границе диска, а вместе с ним и переменность темпа аккреции на полярные шапки [5]. **Получается, что наблюдая, казалось бы, паразитный сигнал в данных, мы слышим отзвуки турбулентного процесса в аккреционных дисках.** Теперь попытаемся понять, как следует декодировать информацию, заложенную в шуме, и что из нее можно достать?

Турбулентные процессы, определяющие вязкость, разворачиваются на так называемых временах магнитного динамо t_{dyn} . Ожидается, что время динамо-процессов в диске приблизительно пропорционально локальному динамическому, или кеплеровскому времени [6], которое растет с удалением от центрального объекта.

Рентгеновские пульсары — это аккрецирующие нейтронные звезды с сильным магнитным полем в тесных двойных системах. Самые яркие представители этого класса объектов уже были предметом нашего внимания на страницах ТрВ-Наука [1]. В таких объектах вещество звезды-компаньона, захваченное нейтронной звездой, ускоряется гравитационным полем последней до скоростей $\sim 0.5c$, достигает поверхности нейтронной звезды и высвечивает практически всю свою энергию (при таких скоростях это $\sim 20\%$ полной энергии покоя) в рентгене [2]. Магнитные поля нейтронных звезд в рентгеновских пульсарах, которые и определяют рентгеновские пульсары как класс объектов, невероятно сильны: на поверхности это $10^{12} - 10^{13}$ Гс, а то и больше. Напряженность поля на поверхности звезды удается уверенно измерять по положению циклотронных линий в спектре, если такие там обнаруживаются [3]. Появление циклотронных линий связано с тем, что энергия движения электрона поперек магнитного поля квантуется, а переходы электронов между энергетическими уровнями приводят к появлению резонансов в сечениях рассеяния и поглощения. Самые сильные поля, которые удается получить в наземных лабораториях, в сотни тысяч раз слабее тех, что мы фиксируем в рентгеновских пульсарах. Отсюда и интерес к этим объектам: декодируя информацию, зашифрованную в их спектрах, поляризации и пр., мы можем наблюдать поведение вещества в условиях сверхсильных магнитных полей. Магнитное поле полностью определяет геометрию аккреционного потока около нейтронной звезды в рентгеновских пульсарах: поток вещества в виде ветра или диска (далее мы будем подразумевать, что аккреция происходит из диска) разрушается магнитным полем на расстоянии около ста радиусов нейтронной звезды ($\sim 10^8$ см). Дальше вещество следует силовым линиям поля и достигает поверхности около магнитных полюсов. Почти всё рентгеновское излучение рождается тут, в непосредственной близости от поверхности. Сам аккреционный поток если и излучает, то в основном в оптике или в ультрафиолетовом диапазоне (на эти диапазоны приходится лишь малая часть общей светимости системы: $\sim 1\%$).

Видимая яркость аккрецирующих компактных объектов звездных масс, и рентгеновских пульсаров в частности, непостоянна и меняется на временных масштабах от месяцев до малых долей секунды. Природа переменности может быть очень разной. На масштабах недель и месяцев наблюдаются вспышки, связанные с изменением темпа аккреции со звезды-компаньона. В таких случаях яркость объекта на небе может измениться в сотни тысяч раз. Например, в одном из рентгенов-

ских пульсаров нашей галактики — Swift J0243.6+6124 — во время вспышки 2017 года, которая длилась не менее шести месяцев, светимость изменилась более чем в миллион раз. Мощные короткие вспышки продолжительностью в несколько секунд могут быть связаны с термоядерным горением накопленного на поверхности нейтронной звезды вещества, однако именно для нейтронных звезд с сильным полем такое явление все-таки нехарактерно: вещество успевает прогореть еще в аккреционном канале. С другой стороны, короткие вспышки длиной в секунды могут быть связаны с развитием неустойчивости в аккреционном диске, когда его внутренние горячие области внезапно «обваливаются» на компактный объект. Другой вид переменности связан прецессией аккреционного диска, когда со временем (речь о десятках и сотнях дней) меняется направление оси его вращения. В этом случае диск работает как ширма, то появляющаяся, то исчезающая на луче зрения, а переменность носит почти периодический характер. В конце концов, в рентгеновских пульсарах видны сами пульсации, связанные с вращением нейтронной звезды, которая интенсивно излучает только около магнитных полюсов и для удаленного наблюдателя работает по принципу маяка. Список переменностей можно продолжать и дальше. На его фоне, однако, выделяется один вид переменности. Его особенность в том, что он носит стохастический, случайный характер. **Рентгеновский поток от пульсаров, как оказывается, шумит**, и даже источник, казалось бы, с постоянной яркостью при внимательном рассмотрении оказывается переменным. Это чем-то похоже на ровный треск цикад в летнем поле: уровень звука более-менее постоянен, но в нем есть многочисленные непредсказуемые детали, которые и формируют особое звучание.

Попробуем немного разобраться с шумами. **Шумы могут быть разными** в том смысле, что в них могут преобладать те или иные характерные времена переменности: представьте себе шум того же поля, полного цикад, и шум прибора. Сравните также шумы, представленные графически на рис. 2. Видно, что в случае (а) характерные времена переменности короче, в шуме преобладают высокие частоты по сравнению со случаем (б). Из-за того, что шум как процесс развивается во времени до известной степени непредсказуемо, исследовать его оказывается намного удобнее, анализируя его частотные свойства: легче сказать, какие времена (частоты) переменности преобладают, чем предсказать, как именно будет развиваться шумовой процесс в следующее мгновение. Технически для исследования частотных свойств к сигналу, разворачивающемуся во времени, применяют

Получается, что характерные времена флуктуаций темпа аккреции тем меньше, чем ближе к внутреннему краю диска они возникают. Самые высокочастотные флуктуации рождаются в непосредственной близости от края. Флуктуации частот выше частоты динамо на внутренней границе диска аккреционного потока создать не может. С этим обстоятельством и связан факт существования завала спектра мощности на высоких фурье-частотах [7]. Иными словами, **положение завала в спектре соответствует динамо-частоте на внутреннем крае диска.** Зацепимся за этот результат.

Внутренний радиус аккреционного диска в наших объектах, т.е. то расстояние, на котором магнитное поле нейтронной звезды становится достаточным для того, чтобы разрушить

► диск, зависит от напряженности магнитного поля и от темпа аккреции: чем сильнее поле, тем дальше от нейтронной звезды оно разрушает поток, но чем больше на нейтронную звезду валится вещества, тем ближе диск может подобраться к ней. Если темп аккреции на нейтронную звезду по каким-то причинам меняется, то меняется и положение внутреннего края. Именно это мы и видим на рис. 3: в ярком состоянии, с большим темпом аккреции диск подбирается ближе к нейтронной звезде, и спектр мощности пульсара смещен в сторону высоких частот по отношению к спектру мощности того же источника в состоянии с меньшими темпами аккреции. Для пульсара A0535+26 надежно (по положению циклотронных линий) измерена напряженность магнитного поля на поверхности, а значит, можно оценить положение внутренней границы диска при разных темпах аккреции. Положение слома в спектре мощности смещается с изменением темпа аккреции так же, как меняется частота динамо на внутренней границе диска. Мало того, знание кеплеровской частоты на внутреннем крае позволяет оценить коэффициент пропорциональности между динамическим временем и временем развития турбулентного динамо [8]. Получается, что **спектр мощности шума несет в себе информацию о геометрии аккреционного потока и о физике вязкости в диске**. Обнаружение же слома в спектре мощности позволяет независимым образом оценить расстояние, на котором диск разрушается магнитным полем, а стало быть, и косвенно измерить магнитное поле нейтронной звезды. Это особенно важно, если другие методы измерения поля не работают.

Если оценки магнитного поля, сделанные на основе циклотронных линий и положения слома в спектре мощности, расходятся, то этот факт открывает интересные возможности. Можно говорить о специфической структуре магнитного поля. Действительно, циклотронные линии указывают на напряженность поля около поверхности нейтронной звезды, где рождается всё рентгеновское излучение, а шум говорит о свойствах поля на значительном удалении от звезды. Оценивая внутренний радиус диска по известной напряженности поля на поверхности, мы неизбежно предполагаем определенную структуру магнитного поля. Как правило, самую простую — дипольную (верхняя часть рис. 1). И в этом предположении можно ошибиться. Несоответствие оценок напряженности поля, полученных разными методами, выявлено недавно в случае известного рентгеновского пульсара Her X-1 [9]. Циклотронная линия в спектре говорит о магнитном поле $\sim 5 \times 10^{12}$ Гс на поверхности. Такая напряженность поля предполагает в случае дипольной структуры (и известного нам темпа аккреции) разрушение диска на расстоянии ~ 200 радиусов нейтронной звезды. Но слом, видимый в спектре мощности, говорит о том, что диск доходит до расстояния по крайней мере 50 радиусов звезды. Такое несоответствие можно увязать с реальностью, если отказаться от предположения дипольной структуры магнитного поля. Недипольное магнитное поле (например, квадрупольное, см. нижнюю часть рис. 1) ослабевает с расстоянием намного быстрее, а значит, диск может подобраться ближе. Интересно, что указания на сложную структуру магнитного поля нейтронной звезды в Her X-1 уже обсуждались в литературе, и в этом смысле анализ шума делает подобные подозрения более обоснованными. В целом, сейчас появляется всё больше указаний на то, что магнитные поля некоторых аккрецирующих нейтронных звезд сильно отличаются от дипольного [10, 11]. Я бы сказал, что мы наблюдаем, как **не дипольные поля превращаются из необязательного и даже экзотического усложнения теории во что-то, от чего уже сложно отказаться**. Исследуя шум, мы можем получать информацию о крупномасштабной структуре магнитного поля. Метод оказывается грубым, но иногда получаются занятные результаты.

Это всё, конечно, упрощенная картина, которая указывает разве что направление мысли. При более внимательном изучении мы увидим, что есть много других факторов, которые могут быть как источниками шума, так и влиять на шум, уже успевший появиться в системе. Например, при высоких темпах аккреции источником шума могут стать фотонные пузыри в аккреционном канале рентгеновского пульсара, когда плазма около полюсов начинает «булькать» как вода в кипящей кастрюле; темп аккреции может влиять не только на энерговыделение, но и на геометрию излучающей области, и это приводит к появлению новых «оркестрантов» в общей картине переменности, да и сама модуляция потока нейтронной звезды ее вращением может нетривиальным образом повлиять на шум [8, 9]. Это всё темы для отдельных рассказов и дальнейших исследований. Так или иначе, на сегодняшний день уже ясно, что шум несет в себе уйму полезной информации. Какие-то данные удается выцепить уже сейчас, но всё же мы далеки от того, чтобы шум давали возможность осуществлять тонкую диагностику. Пока они дают лишь хорошее подкаски. Отчасти такое положение дел связано сложностью физических процессов, лежащих в основе появления шумов: турбулентность, развитие разного рода неустойчивостей и пр. Кроме того, шум — это процесс, разворачивающийся во времени, и значит, для его описания нужны модели, принимающие во внимание нестационарность, а они всегда сложнее.

Рисунки автора

1. trv-science.ru/2022/05/samye-yarkie-magnity-vselennoj
2. Mushtukov, Tsygankov, 2022, arXiv:2204.14185.
3. Staubert et al., 2019, A&A, 622, 61.
4. Balbus & Hawley, 1998, Reviews of Modern Physics, 70, 1.
5. Lyubarskii, 1997, MNRAS, 292, 679.
6. King et al., 2004, MNRAS, 348, 111.
7. Revnitshev et al., 2009, A&A, 507, 1211.
8. Mushtukov et al., 2019, MNRAS, 486, 4061.
9. Mönköinen et al., 2022, arXiv:2206.01502.
10. Tsygankov et al., 2017, A&A, 605, 39.
11. Kong et al., 2022, arXiv:2206.04283.

Рис. Д. Богданова («Википедия»)



Tetraceratops insignis
(возможно, древнейший терапсид)

Неисчерпаемые черепа?

Юрий Угольников



Юрий Угольников

Недавно было опубликовано исследование, в котором изучалось разнообразие в строении черепов синапсид, в том числе, разумеется, современных млекопитающих¹. Заглавие статьи не должно вводить в заблуждение, авторы изучили далеко не только синапсид, хотя синапсиды людям особенно интересны хотя бы в силу того, что мы и сами к ним относимся. Рассмотрены были и диапсиды, а конкретной, за представителей этой группы пришлось отдуваться (как это нередко случается) архозаврам, что неудивительно: с начала мезозоя это наиболее разнообразная группа животных, обладающих диапсидными черепами (именно к диапсидам относятся динозавры вообще и птицы в частности). Справедливости ради, конечно, авторам стоило бы добавить в свое исследование представителей лепидозавров, но нельзя объять необъятное, так что синапсидам пришлось блистать на фоне архозавров.

Итак, общая наблюдаемая картина такова: в целом черепа архозавров разнообразней, но вот если сравнивать размеры черепов и их отделов, здесь синапсиды архозавров многократно превосходят: помимо черепов довольно длинных (принадлежащих ныне живущим китообразным), у современных же млекопитающих (прежде всего у приматов, в том числе у нас с вами) имеются и черепа с радикально укороченной лицевой частью (микроростральные). К такому удивительному разнообразию размеров пришли именно современные млекопитающие и можно с уверенностью сказать, что произошло это в кайнозой, когда они стали господствующей группой амниот и освоение новых сред и новых экологических ниш потребовало соответствующих изменений и от их черепов.

Конечно, кайнозой не первый период, когда синапсиды оказываются наиболее разнообразной группой наземных позвоночных. В конце палеозоя на Земле так же господствуют синапсиды (по крайней мере, среди животных крупного размера). И, однако, в это время в целом, как отмечается в исследовании, они демонстрируют намного более «рептильное» устройство черепа. Полагаю, дело в том, что в палеозой — несмотря на колоссальное разнообразие синапсид и появление,

в частности, первых специализированных роющих форм, проводящих большую часть жизни под землей, — экологические ниши, которые могли занимать наши древние предки, были менее разнообразны, чем те, которые смогли освоить современные млекопитающие. Среди древних синапсид не было ни специализированных к жизни в открытом море рыбоядных и фильтраторов (таких, как уже упомянутые китообразные), ни форм, освоивших активный полет (рукокрылые). Менее разнообразные ниши закономерно приводят к меньшему разнообразию черепов (хотя в исследовании и не проводится корреляция между многообразием экологических ниш и многообразием пропорций черепов).

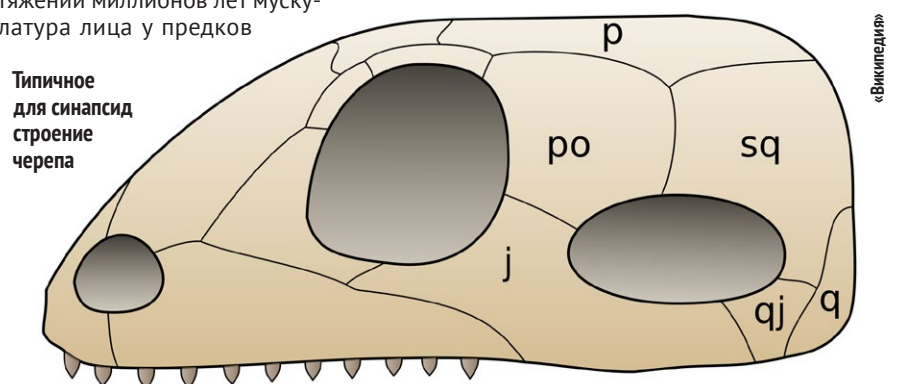
Еще важно, что после того, как некоторые млекопитающие начали переходить к дневному образу жизни в сообществах этих млекопитающих (в частности, приматов), всё большую роль стала играть визуальная коммуникация, в том числе мимика. Возможно, в частности, что именно большая важность мимики могла стимулировать формирование крайне коротких лиц приматов, хотя в первую очередь здесь надо говорить о других причинах, в частности, об особенностях питания. Например, для мандрилов визуальная коммуникация, безусловно, важна, самцы мандрилов — одни из наиболее ярко и разнообразно окрашенных приматов, а их физиономии также одни из самых ярких в мире млекопитающих. При этом мандрилы обладают внушительной мордой солидной длины. Так что влияние мимики и визуальной коммуникации уж точно не стоит преувеличивать, тем не менее, пару слов о ней скажу.

Мимика не взялась из ниоткуда. На протяжении миллионов лет мускулатура лица у предков

млекопитающих постепенно развивалась. Во-первых, приспособление к питанию молоком привело к формированию губ, которые помогали надежно удерживать молочные сосцы (а в случае сумчатых — и удерживаться на них). Длительное приспособление к ночной жизни (а может, до того и привязанность к воде — ведь вибрисы появляются еще в палеозой, задолго до того, как синапсиды станут млекопитающими) сформировало вибрисы, о которых я уже сказал, и вообще сделало крайне чувствительной (то есть богато иннервированной) и подвижной переднюю часть морды. Охотиться на ночных насекомых или отыскивать семена часто приходилось нащупывая их в полной темноте.

После перехода к дневному образу жизни, увеличения размеров мозга и усиления социальности эти адаптации оказались полезными для развития мимики, что, в частности, влияло на изменение пропорций черепа. Разумеется, это только одна из причин, повторяю, скорее всего, не самая значимая.

Возвращаясь непосредственно к упомянутому исследованию, отметим еще один интересный его результат: всё меньшее влияние в синапсидной линии на пропорции черепа в целом. В наибольшей степени это опять-таки проявляется у современных млекопитающих. Отчасти это объясняется увеличением головного мозга и черепной коробки, которая теперь занимает намного больше места в черепе в целом (этот же разросшийся мозг, видимо, и задает ограничение на вариативность конструкции черепа млекопитающего в целом). ♦



Типичное для синапсид строение черепа

«Википедия»

¹ [tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08912963.2022.2071708](https://doi.org/10.1080/08912963.2022.2071708)

— Недавно была опубликована статья [1] об РНК и вулканическом стекле. Крейг Джером и его коллеги из Фонда прикладной молекулярной эволюции провели лабораторные эксперименты, показав, что сравнительно длинные (до 100–200 звеньев) цепочки РНК спонтанно образуются при перколяции (просачивании) смеси нуклеотидов сквозь вулканическое стекло. Многие издания запестрели заголовками от самых осторожных до восторженных, например «Ученые открыли источник жизни на Земле». Так ли это на самом деле? О чем эта статья?

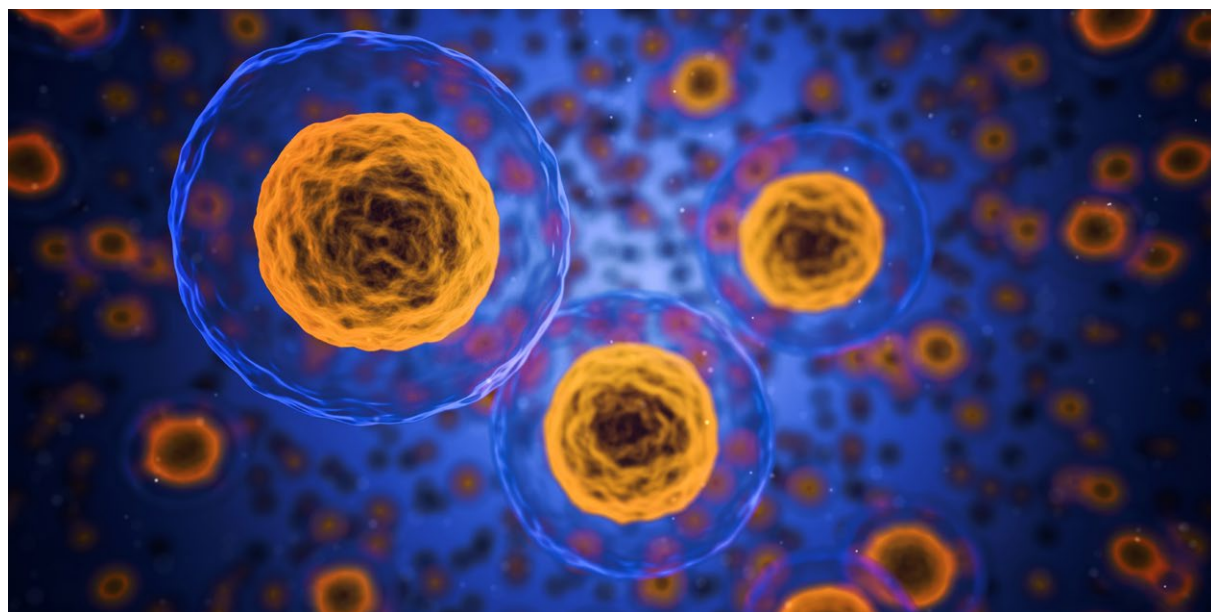
— Я не специалист по неорганической химии, тем более по геологии и вулканологии. Но постараюсь объяснить суть статьи. Идея интересная: РНК и стекло. Наверное, правильнее будет перенестись на 40 лет назад, в 1979 год, когда в журнале *PNAS* вышла статья [2] Берта Фогельштейна (Bert Vogelstein) — тогда ему не было еще и 30 лет — и Дэвида Джилеспи (David Gillespie). Мы знаем Берта Фогельштейна благодаря его вкладу в развитие онкологии — это, в частности, модель Фогельштейна по прогрессии опухолей прямой кишки от доброкачественного полипа до метастазирующей опухоли. Он выявил участвующие в этом гены. Конец 1970-х годов — это бум раз-



Константин Лесков

вития методов геной инженерии. Что они делали? Они разгоняли ДНК, порезанную разными рестрикционными ферментами на кусочки разной длины, в агарозном геле. ДНК заряжена отрицательно, поэтому если агарозный гель в проводящем буфере поместить в поле, то ДНК будет бежать от минуса к плюсу, и чем меньше фрагменты, тем они будут быстрее бежать, т.е. смесь фрагментов будет разделяться по размеру: коротенькие фрагменты — ближе к плюсу, длинные фрагменты — ближе к минусу. Возникла проблема: как эту ДНК извлечь из геля? Допустим, мы хотим просто вырезать фрагмент и вставить его в какой-то вектор, плазмиду или бактериофаг. Было разработано много разных методов, но Фогельштейн и Джилеспи предложили очень простую вещь. Каким-то образом они выяснили, что ДНК в присутствии большой концентрации солей обратно прилипает к стеклу. Обратно — в том смысле, что если высокую концентрацию соли убрать, то ДНК можно просто смыть со стекла чистой водой. Ученые использовали в качестве соли йодид натрия, потому что он растворяет агарозу, но можно использовать что угодно. Исследователи проверяли разные виды стекла, и лучше всего у них ДНК связывалась со стеклом, изготовленным на основе кремния, — флинт (flint glass). Они связывали ДНК, отмывали ее 70–80-процентным этанолом от агарозы и всяких белков-примесей и потом элюировали практически чистую ДНК дистиллированной водой или буфером с низкой концентрацией солей. Этот метод очень простой. У них получалось, что если растереть это кремневое стекло в порошок, чтобы увеличить площадь поверхности, то оно налипло очень много ДНК. Если взять порошок кристаллического кварца, то к кристаллам она как-то не очень липла. Она лучше липнет к аморфному, или, как сейчас говорят, криптокристаллическому стеклу, криптокристаллическому силикату.

На основе этого был создан коммерческий продукт, который назывался *glass milk*. Он действительно выглядит как молочко, это взвесь стеклянного порошка в буфере, которую можно легко использовать для переосаждения ДНК, для очистки ДНК от белков, агарозы и т.д. Раньше для очистки нужна была смесь фенол-хлороформа. Фенол — это



РНК на вулканическом стекле

Обсуждение статьи о формировании РНК в журнале *Astrobiology*

Американские химики обнаружили удивительно простой механизм, который мог привести к образованию на Земле цепочек РНК-молекул, эволюция которых увенчалась появлением первых живых клеток. Публикуем на эту тему расшифровку беседы Алексея Кудря с докт. биол. наук Константином Лесковым, американским биологом российского происхождения, живущим в Кливленде.

хуже, чем радиация, тем меньше с ним работаешь, тем лучше. *Glass milk* — это было просто чудо. Я сам удивился, когда мне показали этот метод: в начале девяностых: как здорово, просто к стеклу липнет. Мне неясно, насколько хорошо освоен молекулярный механизм прилипания ДНК к стеклу, насколько его хорошо учили. Возможно, там что-то ионное, потому что в аморфных силикатах кустистые, разветвленные структуры, бывают еще и заряженные группы. Там не просто SiO_2 , там интересные вещи происходят, в этих аморфных соединениях всё не так просто, как в кристаллах. Дальше появились другие продукты на основе *glass milk*: смесь силиката, по-моему, с оксидами железа, чтобы порошок был магнитным. Зачем? Допустим, смешал этот порошок с раствором, смесью ДНК с веществом, от которого ты хочешь ее очистить, а потом к магнетику приставил — оно всё прилипло к стенкам пробирки, супернатант отсасываешь, промываешь и элюируешь ДНК или РНК. Может быть, там несколько другая формулировка, но в целом нуклеиновые кислоты — как РНК, так и ДНК — можно очищать с помо-

щью этих аморфных силикатов. Таким образом, уже более сорока лет известно, что нуклеиновые кислоты и даже короткие олигонуклеотиды и нуклеотиды прилепляются обратимо к стеклу.

Что интересно в статье, которую сейчас опубликовали в журнале *Astrobiology*? Авторы обнаружили, что на поверхности криптокристаллических стекол вулканического происхождения (они использовали базальт, габбро, диабаз, андезит, нефелинит и кристаллический кварц в виде порошков) в присутствии нуклеотидтрифосфатов (основание, рибоза и трифосфатный хвост) полимеризуется РНК, полинуклеотиды. Причем происходит это в чистой воде, без солей, как я понял, даже без магния, который, вообще говоря, хорошо бы для всяких полимеризаций полинуклеотидов использовать. Чистая вода, порошок вулканического стекла и нуклеотиды. Один из нуклеотидов был помечен фосфором-32, чтобы можно было разогнать его в акриламидном геле, приставить фотопластинку или какое-то считывающее устройство, которое зафиксирует радиоактивные распады. В полиакриламидном геле чем ближе к положительному полюсу — тем мельче фрагменты РНК, чем ближе к минусу — тем они крупнее.

Первое, что бросается в глаза: есть куча всяких очень низкомолекулярных соединений, которые включали в себя радиоактивные основания, т.е. от одного до 12–13 нуклеотидов. Потом исследователи выяснили, что это какой-то артефакт, на этом можно не заострять внимание. Но самое интересное происходило на верхушке геля, ближе к отрицательному полюсу. Те фрагменты РНК, которые только-только попали в гель, далеко не успели уйти, потому что они очень большие. Однако экспериментаторы увидели, что там, у полюса, присутствуют эти фрагменты, в которые включалось меченое основание, и эти фрагменты, судя по тому, как они фильтруются или застревают на фильтрах разной пористости, примерно от 50 до 100 килодальтон (а.е.м.), что, по-видимому, соответствует где-то от 90 до 150 основаниям, и это, в общем, довольно много, если предположить, что РНК-полимераза там отсутствует. Важно, что было обнаружено: эта полимеризация зависит от времени. Исследователи до 144 часов



Алексей Кудря

инкубировали порошок с нуклеотидами, и у них получилась хорошая кривая: чем больше проходит времени, тем больше меченых нуклеотидов оказываются включенными в высокомолекулярные структуры. Из чего был сделан вывод: это некий признак каталитической реакции, т.е., скорее всего, там идет образование высокомолекулярных полинуклеотидов.

Когда такое видишь, сразу возникает вопрос о контаминации. Эта статья немного неопытная. Что интересно? Можно ли смыть что-то, что есть на этих образцах стекла, если там присутствует контаминация бактериальными или грибковыми ферментами, которые обладают нуклеотид-трансферазной активностью? Можно ли это смыть и со смывами в отсутствие стекла провести реакцию? Судя по всему, это было сделано, и вроде бы там нет образования этих высокомолекулярных видов, что есть хороший признак, хороший негативный контроль. И это получилось с диабазом, базальтом и габбро, но не с андезитом, нефелинитом и кристаллическим кварцем, что представляет собой еще один хороший негативный контроль.

А дальше что сделали? Взяли РНКазу, т.е. фермент, который разрушает природную РНК, и показали, что эти высокомолекулярные РНК, образующиеся на стекле, могут быть деградированы РНКазой. Значит, это, видимо, все-таки РНК.

Но я бы всё же оставил вопрос о контаминации открытым. Когда я посмотрел статью, у меня сразу же возник вопрос: если это РНК, то первое, что приходит в голову, — взять маленький секвенатор и попытаться эту РНК просеквенировать (сейчас это стало более-менее стандартной методикой — секвенировать одноцепочечную РНК) и посмотреть на сиквенсы тех нуклеотидов, которые там образуются. Это будут действительно случайные последовательности нуклеотидов? Если это окажется какая-то известная бактериальная, грибковая РНК, то со всеми экспериментами возникает серьезная проблема. Это т.е. означать, что на каком-то этапе просто не помыли руки, и у них там контаминация. Сама по себе статья интересная, но она требует дополнительных исследований, дополнительного контроля. Все-таки мы живем уже в XXI веке и можем секвенировать такие РНК более-менее рутинно. ►



Рис. TimVickers («Википедия»)

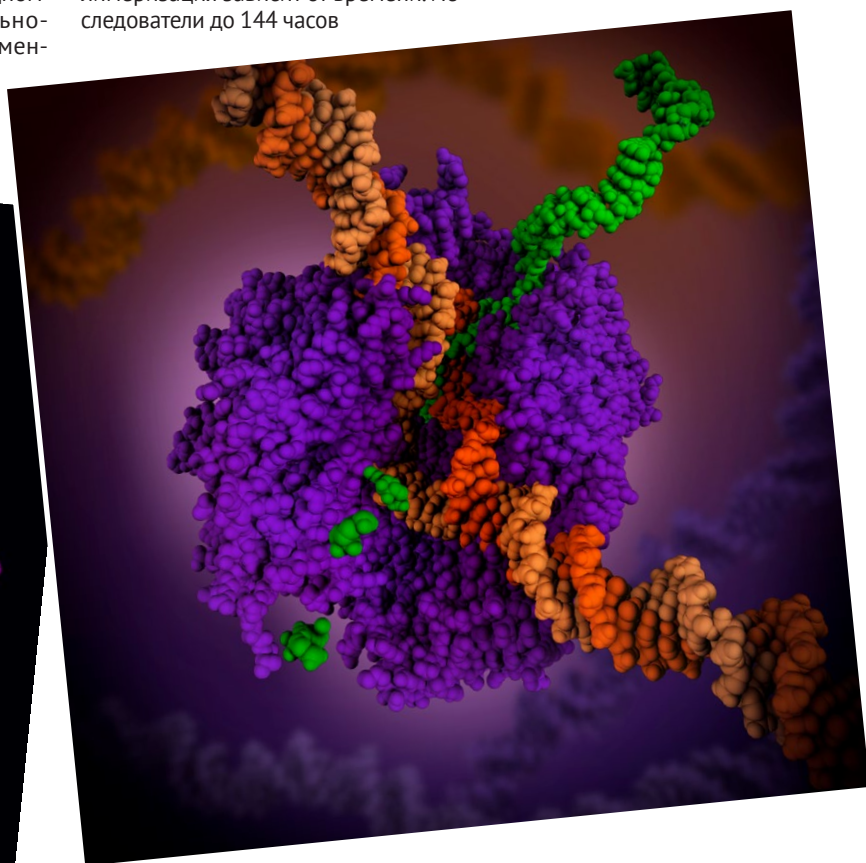


Рис. Maria Voigt и PDB-101 («Википедия»)

Два представления РНК-полимеразы

Продолжим горячую тему о заимствованиях и пуризме, поскольку страсти по заимствованиям, как будто нет других проблем, не утихают, поселившись в Совете Федерации.

Его председатель Валентина Матвиенко на пленарном заседании поручила комитету по науке, образованию и культуре организовать проверку и рассмотреть возможные пути законодательного решения этого вопроса. Назвав русский язык красивым, замечательным и уникальным, сама Матвиенко воспользовалась им не сказать, что с блеском. См. фразу в заголовке, в которой и падеж перепутан (надо «в русском языке»; впрочем, в устной речи оговорки — дело совершенно нормальное), и главное, о ужас — употреблено заимствование «аналог».

Кстати, а каков русский аналог слову «аналог»? Поищем — найдем. Помните, в прошлый раз мы обсуждали движение пользователей английского языка, избавляющихся от романов и называющих, например, элементы, то есть *elements*, словом *firststuff*, для которого я предложила перевод «первоначальности». «Аналог» — «подобие». Так? Так, да не так. Несколько иной узус, то есть практика употребления. Примеры из СМИ:

Аналог: — *Вы ориентировались на какой-нибудь западный аналог?* — Я, честно говоря, не знаю заведений подобного формата ни в Москве, ни на Западе (Вячеслав Борисов. Это мама. Нина Хаген взорвет бункер // «Известия», 2002.10.13).

Подобие: *Хотя ФСИН уверяет, что исправительные центры не превратятся в подобие ГУЛАГа, у некоторых парламентариев остаются сомнения и на этот счет* (Осужденные готовятся строить БАМ // Парламентская газета, 2021.05).



Ирина Фуфаева

«Есть же аналоги у русского языка»

Ирина Фуфаева

Во второй фразе слово «подобие» можно было бы заменить на «аналог», и мы видим, что журналист выбрал русский вариант. В первой сказать «Вы ориентировались на какое-нибудь западное подобие?», очевидно, сейчас невозможно. Беглый анализ показывает, что слово «подобие» не склонно употребляться без определения, без названия оригинала этого самого подобия: «подобие борьбы», «подобие партсобрания», «подобие стола» и т. д., но не просто подобие само по себе. А вот при слове «аналог» такое определение вполне может опускаться. Можно найти и другие нюансы. Например, стилистические. Слово «аналог» употребляется в разговорно-деловой, разговорно-бюрократической разновидности разговорной речи и не может употребляться в возвышенном стиле. «Человек — аналог Бога» нельзя. «Человек — подобие Бога» еще как можно. Слово «подобие» в изобилии встречается в поэтическом подкорпусе Нацкорпуса русского языка, а вот слова «аналог» там не встретишь.

С Шереметьевского аэродрома
Доносилось подобие грома.
Рядом пели деревья земли:
«Мы ее берегли от удачи,
От успеха, богатства и славы,
Мы, земные деревья и травы,
От всего мы ее берегли»

(Давид Самойлов. Смерть поэта:
«Я не знал в этот вечер в деревне...» (1966)).

Наверняка есть и другие тонкие различия. Но означает ли это, что слову «подобие» никогда не обрести стилистических и грамматических свойств слова «аналог» и что в следующей

итерации борьбы с очередными заимствованиями никто не скажет: «Есть же подобия в русском языке»?

Нет! Хорошая новость и для Валентины Матвиенко, и для всех, озабоченных «порчей русского языка»: сплошь и рядом русские аналоги постепенно и незаметно вбирают в себя то недостающее, что послужило причиной заимствования, обычно — семантический кусочек. Например, сегодня, говоря о чем-то осознанно построенном внешнем виде, включая одежду, прическу, поведение, мы уже с меньшей вероятностью употребим еще недавно модное слово «имидж» (из англ. *image*). Сегодня более современно звучит «образ». Древнее слово, истории которого мы касались в статье «Заразительные слова», за многовековую историю развивало разные значения, конкретные и абстрактные, и вот сейчас обрело еще одно. Кстати, было оно и синонимом слова «подобие» («по образу и подобию»), отсюда исходно уменьшительное «образец».

Такие же процессы происходили в русском языке множество раз. Почти триста лет назад поэт Александр Сумароков так же сетовал на «восприятие чужих слов, а особливо без необходимости», которое «есть не обогащение, но порча языка», и восклицал: «Какая нужда говорить вместо... насмехаться, моковаться?»



Рис. В. Александрова

Слово «моковаться» или «мокироваться», из французского глагола *se moquer*, которым возмущались просвещенные люди в середине XVIII века, быстро и безвозвратно ушло с субкультурой петиметров, в чьем жаргоне бытовало, и мы сейчас понятия не имеем о его существовании. В отличие от слова «насмехаться».

Так что шансы есть, но вот воспользуется ли ими слово «подобие», как поведет себя большая коммуникационная система, включающая и сам язык, и десятки миллионов его носителей, невозможно.

Ну и вишенкой: само слово «подобие» является заимствованием, но очень старым и из родственного языка — старославянского, упрощенно говоря, из церковно-славянского. Но вот исконный и общеславянский аналог «подобия» возродить, боюсь, уж точно невозможно. ♦

НА ПЕРЕДНЕМ КРАЕ

Вначале я упомянул об экспериментах с *glass milk*. РНК связывается со стеклом в присутствии солей. 0,25 миллимоля NaCl, например. Авторы обсуждаемой работы не использовали никакие соли. Было бы интересно посмотреть, как эта реакция идет в присутствии разных ионов. Скажем, 250–400 миллимолей NaCl. Или в присутствии магния. Это было бы классно. В природе все ферменты используют магний, чтобы полимеризовать нуклеиновые кислоты.

Я бы сказал, что эта работа не закончена. Группа продолжает исследования, и я надеюсь, что мы услышим от них что-то еще.

На ранней Земле

— Условия ранней Земли были достаточно суровыми, там не было стерильно чистой лаборатории. Высокое давление, температура, и углекислый газ еще не превратился в карбонаты... Насколько мне известно, условия были даже значительно более суровыми, чем сейчас на Венере. Каковы шансы, что даже если бы РНК таким способом образовалась, она смогла бы запустить эволюцию на нашей планете?

— Во-первых, всё должно происходить в водной фазе, а на Венере другие условия. Что касается суровости... Суровость — понятие относительное. Скажем, довольно суровые условия в термоциклере, где проходит полимеризация цепная реакция. Там сначала 98 °C, потом всё меняется на 50 °C, потом на 70 °C. Давление в пробирке тоже высокое, но тем не менее там происходит полимеризация ДНК. Так что по поводу суровости: всё, что нам надо, — это отрицательная ΔG, изменение свободной энергии. Если она отрицательная — реакция должна идти самопроизвольно, но, возможно, энергия активации будет довольно высока. В этих случаях потребуется катализатор. Если вулканическое стекло является катализатором, это было бы замечательно, но это нужно проверять. Может быть, для нас, изнеженных ор-

ганизмов, это суровые условия, но для простой органики в водной среде... Сильно выше 100 °C температура не может подняться. Только если давление... Но, может быть, при таком давлении ΔG будет еще ниже. В кипящей колбе условия вроде бы суровые, но реакция там идет.

— То есть для того, чтобы могла образоваться РНК и чтобы она запустила эволюцию, условия были вполне подходящие, комфортные?

— Раз она образовалась — наверное, да.

— Насколько хорошо мы знаем, что это были за условия?

— Скажем так: раз она образовалась, значит, термодинамика это позволяла.

— Если на планете, пусть даже в экстремальных условиях, возникает РНК, это уже показатель того, что на этой планете запустится эволюция и когда-нибудь появится жизнь, в том числе и разумная?

— Как только эта РНК, самостоятельная или в комплексе с какими-то кофакторами (допустим, пептидами), начинает сама себя реплицировать, я бы сказал, что это уже жизнь. Тут вопрос философии или, как говорил Ландау, еще хуже — филологии. Я бы сказал, что жизнь — это репликаторы, которые воспроизводят себя с ошибками. Кстати, на другой планете это может быть вообще не РНК, а другие полимеры.

На других планетах

— Кстати, насчет других планет: там же Венера, Марс... Скорее всего, там тоже встречаются подобные геологические образования.

— Наверное. Не знаю.

— Можно ли предположить, что на этих планетах мы можем найти хотя бы остатки подобной жизни?

— Пока что ничего не нашли, и тут проблема в том, что там нет растворителя, там нет жидкой воды. На Луне точно нет. На Марсе...

— На Марсе было?

— Возможно, было. Пока что следов каких-то репликаторов мы не нашли. А на Венере всё плохо. Есть растворитель на Титане. Там жидкие углеводороды. Что там за химия, было бы интересно узнать.

— Вроде бы NASA туда планирует отправить исследовательский зонд именно с целью поискать там жизнь.

— Да, с вертолетиком.

— А там условия позволяют. В отличие от Марса, атмосфера там значительно плотнее, так что вертолету, должно быть, очень комфортно там летать... Еще вопрос. В своей книге «Происхождение жизни» Михаил Никитин рассказывает о гипотезе возникновения жизни в условиях грязевых вулканов. В то же время распространена идея, что жизнь возникла возле черных курильщиков на дне океана. Вам какая идея ближе? Куда отнести данную статью?

— Книжка Михаила Никитина замечательная, всем рекомендую. Эта гипотеза высказана [3] в 2012 году в том же журнале *PNAS* Арменом Мулкиджаняном и его коллегами. Среди них — Евгений Кунин. Есть и геолог среди авторов — Андрей Бычков. Почему вообще эта идея возникла? В школе и в популярных лекциях нам говорили, что жизнь возникла в океане, потому что ионный состав крови такой, как в океане.

Проблема в чем? Внутри клеток ионный состав совсем не такой, как в океане. Скажем, в океане много натрия, а внутри клетки — много калия, и отношение калия к натрию в клетке гораздо выше, чем в крови. Содержание других ионов там тоже отличается, из чего можно сделать вывод: до того, как репликаторы инкапсулировались в липидные мембраны и стали изолированы от окружающей среды, они жили в среде, где было много калия, меньше натрия, а также был цинк и марганец. Почему цинк? Потому что, насколько я помню, гены, которые кодируют наиболее древние ферменты,

как раз зависят от цинка. Если прикинуть генеалогическое древо белков, то наиболее древние из них зависят от цинка и марганца. Конечно, есть поля сульфида цинка в океане, мы не можем отметать курильщики, но Мулкиджанян и его коллеги задались вопросом, где на Земле существуют условия, в которых содержание ионов такое же, как в цитоплазме клетки. Я так понимаю, один из соавторов съездил на Камчатку к вулканическим грязевым котлам, и там именно те условия, которые ожидали от среды, где зародились первые репликаторы перед тем, как они инкапсулировались липидными мембранами в клетки. Я думаю, что это вполне жизнеспособная гипотеза. А как было на самом деле... кто же знает?

— О чем я забыл вас спросить? Свободный микрофон.

— Происхождение жизни — не совсем моя тема. В данный момент я работаю с жизненным циклом вирусов, в частности, ВИЧ и COVID. На самом деле, недавно была очень хорошая статья [4], которую детально разобрал Александр Марков [5, 6]. Когда я первый раз об этом узнал, мне сразу пришла на ум гипотеза прагенов Анатолия Альтштейна [7]. Он вирусолог, преподавал у нас на кафедре в МГУ. Первый раз я его лекцию о гипотезе прагенов услышал, по-моему, в 1988 году, когда приехал из Барнаула послушать про науку на летних школах. В чем была идея Альтштейна? Есть триплет нуклеотидов, которые через фосфатный мостик соединены с аминокислотой. И он постулировал некое соответствие аминокислоты этим нуклеотидам. Он не знал, что это за соответствие, просто постулировал. Альтштейн предположил, что если эти нуклеотиды будут соединяться в более длинные цепочки... Три нуклеотида плюс фосфатный хвостик плюс аминокислота — он называл это «праген». Если они будут соединяться, то за счет гидролиза фосфатной связи может происходить перескок аминокислоты с одного прагена на другой. Одновременно образуется полипеп-

тид и длинная РНК. Никакого экспериментального подтверждения этой гипотезы не было. Она считалась (и, наверное, до сих пор считается) старческим чудачеством. Потом он применил у нас по своей гипотезе зачет. Но, на самом деле, если присмотреться, механизм прагенов очень сильно напоминает то, что было в этой статье. Там тоже триплет, аминокислота, только не на фосфатном мостике, а на мостике из неканонического азотистого основания. Там есть матрица, аминокислоты перескакивают, полипептид образуется. Такой интересный курьез.

— Большое спасибо! Было интересно, познавательно. Надеюсь, встретимся еще раз!

Видеoverсию беседы см. здесь: youtu.be/watch?v=zL4_RmzeHHU

- Jerome G.A., Kim H.-J., Mojzsis S.J., Benner S.A., and Biondi E. Catalytic Synthesis of Polyribonucleic Acid on Prebiotic Rock Glasses // *Astrobiology*. Jun 2022. 629–636. DOI: 10.1089/ast.2022.0027
- Vogelstein B., and Gillespie D. (1979) Preparative and Analytical Purification of DNA from Agarose // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 76, 615–619. DOI: 10.1073/pnas.76.2.615
- Mulkiidjanian A.Y., Bychkov A.Y., Dibrova D.V., Galperin M.Y., and E.V. Koonin. Origin of first cells at terrestrial, anoxic geothermal fields // *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 109, E821–E830 (2012). DOI: 10.1073/pnas.1117774109
- Müller F., Escobar L., Xu F. et al. A prebiotically plausible scenario of an RNA-peptide world // *Nature* 605, 279–284 (2022). DOI: 10.1038/s41586-022-04676-3
- elementy.ru/novosti_nauki/433970/Molekuly_RNK_umeyut_sintezirovat_peptidy_pri_pomoshchi_reliktovykh_nestandardnykh_nukleotidov/t379113/Aleksandr_Markov
- trv-science.ru/v-poiskax-puti-k-sintezu-belkov/
- Альтштейн А.Д. Происхождение генетической системы: гипотеза прагенов // Молекулярная биология. 1987. Т. 21

Радиоактивные лавы Чернобыля

Борис Бураков, докт. геол.-мин. наук,
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе (Санкт-Петербург)

Следует подчеркнуть, что даже спустя 36 лет с момента аварии на ЧАЭС споры по некоторым принципиальным вопросам так и не прекратились. Например, кардинально различаются как оценки количества ядерного топлива, оставшегося после аварии внутри «Саркофага» или объекта «Укрытие» (для сравнения — [7] и [10]), так и версии механизма разрушения четвертого энергоблока (для сравнения — [11] и [12]).

Для понимания аварии на ЧАЭС неподготовленному читателю будет удобно рассмотреть основные элементы конструкции реактора РБМК в самом упрощенном виде (рис. 1).

Основные факты о Чернобыльской аварии, получившие неопровержимое экспериментальное подтверждение, таковы:

Взрыву четвертого энергоблока ЧАЭС предшествовала самопроизвольная неуправляемая цепная реакция с большим выделением энергии в локальной части активной зоны реактора [13–17]. Это был не только исключительно высокотемпературный процесс (не менее 2400–2600 °С по самой низкой оценке), но и очень кратковременный (существенно менее 1 с) [16].

Еще до момента объемного парового взрыва реактора в его локальной части произошло совместное плавление

Авария на Чернобыльской АЭС, произошедшая 26 апреля 1986 года, сопровождалась не только механическим разрушением ядерного реактора (РБМК — реактора большой мощности канального), но и весьма примечательными процессами преобразования значительной части ядерного топлива (в исходной форме — диоксида урана UO_2) в новые высокорadioактивные урансодержащие материалы [1–10]. Эти новообразованные материалы важно детально исследовать, чтобы понять, как развивалась авария на четвертом энергоблоке ЧАЭС, а также для моделирования и предотвращения потенциальных аварийных процессов на других типах реакторов. Один из удивительных выводов таких исследований заключается в том, что в качестве универсального продукта образуется так называемый кориум (corium, результат совместного плавления ядерного топлива и циркониевой оболочки, в которую это топливо заключено, с образованием фаз твердых растворов UO_2-ZrO_2) для совершенно разных типов ядерных реакторов и сценариев их разрушения, включая аварии на АЭС Три-Майл-Айленд (1979, США), в Чернобыле (1986, СССР) и на «Фукусиме-1» (2011, Япония) [3, 5, 8, 9, 16, 17].

некоторой части ядерного топлива (оксида урана) и циркониевых трубок тепловыделяющих элементов (в которых и находятся сами таблетки топлива) с образованием кориума [3, 5, 8, 9, 16, 17]. Радиоактивные твердые частицы (так называемые горячие частицы) на загрязненных почвах в районе ЧАЭС представлены не только оксидом урана (UO_x) от механически диспергированного топлива, но и продуктами окисления кориума

в виде кристаллических соединений (Zr, U) O_2 и $(U, Zr)O_2$ с различными соотношениями U/Zr [3, 8, 9].

Взрыв реактора по внешним признакам был фугасным, а не бризантным. В результате взрыва шахта реактора оказалась фактически пустой, но при этом бак биологической защиты «Л» почти не пострадал [18]. На значительной части поверхности «Л», а также плиты основания реактора «ОР» (сверху и снизу) и верхней пере-

вернутой взрывом плиты реактора «Е» (сверху и снизу) сохранилась краска [18]. Образно можно представить взрыв реактора как выстрел цилиндром активной зоны (с оболочкой «КЖ») из ружья, стволом которого послужил бак биологической защиты «Л». Вероятно, движущей силой этого «выстрела» мог быть только перегретый пар, но исходным «детонатором» и главным источником энергии — локальная неуправляемая цепная реакция.

В результате взрыва верхняя биологическая защита реактора (схема «Е») была подброшена на значительную высоту — по некоторым оценкам, до 30 м [18], — перевернулась и упала под наклоном обратно на условную шахту реактора (рис. 2).

Разрушение реактора повлекло смещение на 4 м вниз плиты основания реактора «ОР». Примерно четверть «ОР» в юго-восточной части исчезла, что было зафиксировано прямыми визуальными наблюдениями [18]. Не вызывает сомнений, что некоторая часть разрушенной (в результате локальной самопроизвольной цепной реакции в самом начале аварии, а потом и при объемном фугасном паровом взрыве) активной зоны попала (через образовавшийся в плите «ОР» проем) в подреакторное помещение № 305/2.

Не существует материальных доказательств взрыва водорода, выделившегося якобы в результате широко обсуждаемой паро-циркониевой реакции. Не было обнаружено частиц оксида циркония ZrO_2 (продукта взаимодействия пара и циркониевых оболочек тепловыделяющих элементов и циркониевых труб технологических каналов) не только внутри «Укрытия», но и за его пределами — на загрязненных почвах [8, 9]. Фугасный характер разрушения реактора также исключает версию о бризантном взрыве гремучего газа (смеси водорода и воздуха).

После взрыва реактора в помещении 305/2 произошло образование высокорadioактивных силикатных расплавов, или чернобыльских «лав», которые распространились в различные подреакторные помещения и застыли (рис. 3) в виде трех основных потоков — двух вертикальных и одного горизонтального [6, 7, 10]. По паросбросным трубам «лава» проникла не только в парораспределительный коридор (непосредственно под помещением № 305/2), но и на самый нижний уровень подреакторных помещений — в бассейн-барботёр, частично заполненный водой (на обоих своих этажах).

В образование радиоактивного силикатного расплава были вовлечены:

диспергированное топливо (UO_x); продукты окисления кориума (в виде застывших каплей твердых растворов UO_2-ZrO_2); серпентинитовая засыпка из плиты основания реактора (схемы «ОР») и бетон. Те материалы, которые сбрасывали на руины четвертого блока ЧАЭС с вертолетов (песок, мраморная крошка, доломит, свинцовые чушки и др. [7]), в шахту реактора не попали. Разумеется, они не попали и в подреакторное помещение № 305/2 [18].

Образцы чернобыльских «лав» из различных подреакторных помещений (рис. 4) были отобраны сотрудниками Курчатовского и Радиового институтов исключительно вручную в условиях экстремального радиоактивного облучения. В настоящее время единственная в мире представительная коллекция чернобыльских «лав» хранится в АО «Радиовый институт им. В.Г. Хлопина» (в отделе горячих камер в его отделении в Гатчине).

Чернобыльские «лавы» по цвету разделяются на два основных типа — черные (рис. 5) и коричневые (рис. 6). Валовое содержание урана в коричневых «лавах» составляет примерно 8–9 массовых процентов, а в черных — в два раза меньше. Остается невыясненным, существовал ли единый источник силикатного расплава, который потом разделился в общем объеме на два несмешивающихся слоя коричневой и черной «лавы», или разные по цвету «лавы» сформировались в независимых друг от друга участках помещения № 305/2.

Чернобыльская «пемза» (рис. 7) является продуктом очень быстрого застывания коричневой «лавы» в воде бассейна-барботёра. *Кстати, из самого факта существования чернобыльской «пемзы» следует тот вывод, что в момент проникновения лавы в бассейн-барботёр вода из него спущена еще не была.* По своим свойствам и пористой текстуре этот материал напоминает природную пемзу, которая образуется при попадании вулканической лавы (в процессе извержения вулкана) в воду. Как и природный аналог, чернобыльская «пемза» имеет низкую плотность (плавает на поверхности воды).

Матрица чернобыльских «лав» состоит из алюмосиликатного стекла с примесями К, Са, Mg, U, Zr. В ней также обнаруживаются включения различных новообразованных (техногенных) кристаллических фаз: урансодержащего циркона (Zr, U) SiO_4 и твердых растворов UO_2-ZrO_2 (рис. 8 и 9). Количество включений в матрице коричневых «лав» существенно больше, чем в черных. Именно коричневый цвет дисперсных фаз твердых растворов UO_2-ZrO_2 придает окраску коричневым «лавам» (т. е. это не собственный цвет стекломатрицы).

Включения кристаллических техногенных фаз в матрице чернобыльских «лав» являются маркерами температуры образования силикатного расплава, времени его существования и длительности застывания, а также окислительно-восстановительных условий [3, 8, 9, 19].

В заключении автор считает необходимым кратко обосновать необходимость сохранения коллекции уникальных образцов чернобыльских «лав» в Радиовом институте и продолжения их комплексных исследований:

На АЭС «Фукусима-1» в результате аварии в 2011 году расплавились три реактора. Предполагается попадание высокорadioактивных материалов на поверхность бетона и образование силикатных расплавов сходных с чернобыльскими «лавами». Образцы этих материалов пока недоступны, однако для подготовки и обучения научного персонала могут быть оперативно использованы различные чернобыльские

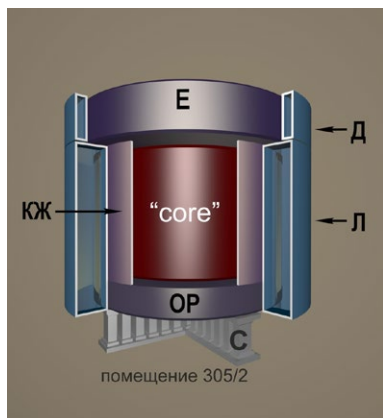


Рис. 1. Упрощенная схема конструкции реактора РБМК: «Core» — активная зона реактора в виде цилиндра высотой 8 м и диаметром 14 м. Состоит из графитовых блоков, через которые вертикально проходят циркониевые трубы (технологические каналы) с водой-паром. Внутри каждого технологического канала находятся топливные сборки из тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов), которые обеспечивают нагрев воды. Каждый ТВЭЛ состоит из герметично заваренной циркониевой трубки, наполненной таблетками из диоксида урана. «КЖ» — стальной кожух вокруг цилиндра активной зоны. Герметично приварен к плитам «Е» и «ОР». «Е» — верхняя плита (биологическая защита) реактора. Состоит из полого стального цилиндра, заполненного силикатной (серпентинитовой) засыпкой. «ОР» — плита основания реактора. Состоит из полого стального цилиндра, заполненного силикатной (серпентинитовой) засыпкой. «Д» и «Л» — баки биологической защиты в виде стальных полых колец, заполненных водой. Ограничивают пространство условной шахты реактора. «С» — крестовая стальная опора. Помещение 305/2 — так называемое подаппаратное помещение — пространство вокруг опоры реактора «С». На полу помещения имеются выходы 8 вертикальных стальных труб (паросбросных клапанов) диаметром 120 см каждая. Трубы предназначены для сброса радиоактивного пара сначала в парораспределительный коридор и далее ниже в бассейн-барботёр в случае потенциальной аварии, связанной с разгерметизацией технологических каналов

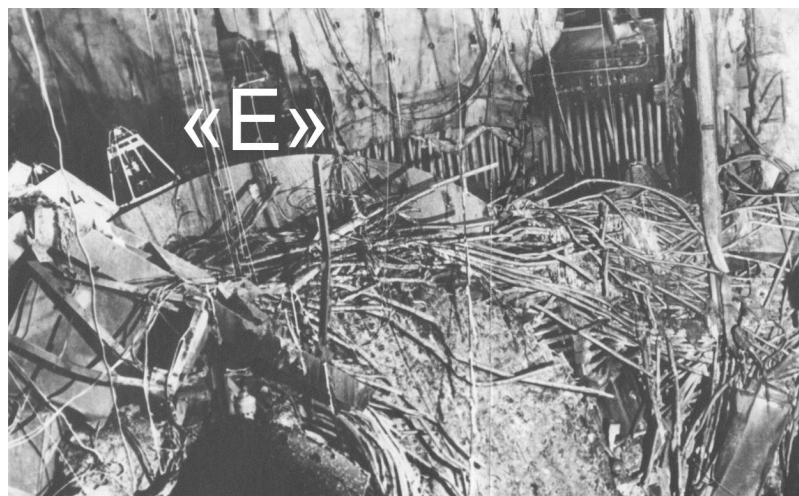


Рис. 2. Фотография перевернутой чернобыльским взрывом верхней плиты биологической защиты реактора «Е» (1990 год). Видны трубы оборванных технологических каналов. В верхнем левом углу снимка виден сброшенный с вертолета буй диаметром в основании 1,5 м. Фото любезно предоставлено Л.А. Плещачевским



Рис. 3. Один из самых известных натеков черной чернобыльской «лавы», получивший название «Слоновья нога». Фото сотрудников Комплексной экспедиции Института атомной энергии им. И.В. Курчатова, 1990 год [1, 7]



Рис. 4. Упаковка высокорadioактивных образцов чернобыльской «лавы» внутри «Саркофага» для отправки в Радиовый институт в Ленинград. Фото Б.Е. Буракова, 1990 год



Рис. 5. Фрагменты черной «лавы» из «Слоновой ноги». Коллекция Радиевого института. Фото В.А. Цирлина и Б.Е. Буракова, 2011 год

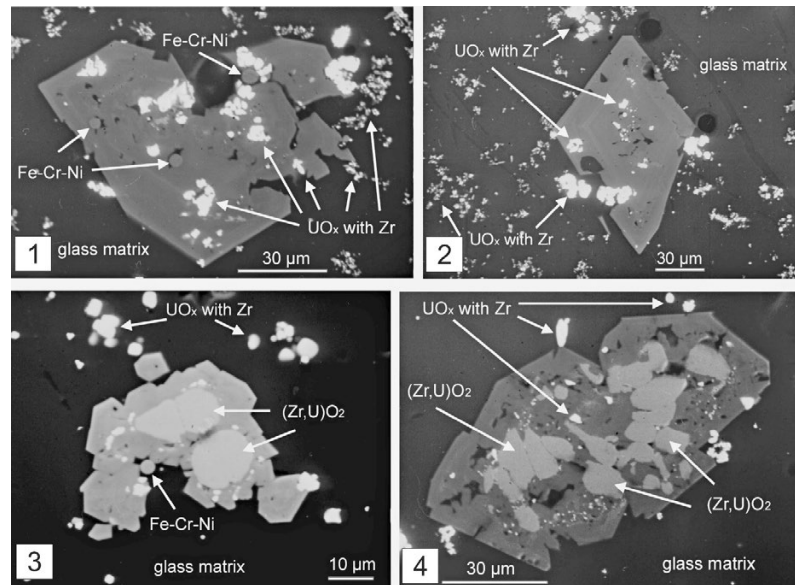


Рис. 8. Микрофотографии полированных образцов коричневых (1 и 2) и черных (3 и 4) черновильских «лав» в сканирующем электронном микроскопе. На фоне стеклоподобной матрицы («glass-matrix» – черный фон) видны включения кристаллов урансодержащего техногенного циркона ($(\text{Zr}, \text{U})\text{SiO}_4$), фаз твердых растворов $\text{UO}_2 - \text{ZrO}_2$ (помечены стрелками как UO_x with Zr и $(\text{Zr}, \text{U})\text{O}_2$) и округлых частиц переплавленной нержавеющей стали (помечено стрелками как Fe-Cr-Ni). Фото Б.Е. Буракова, 1990 год

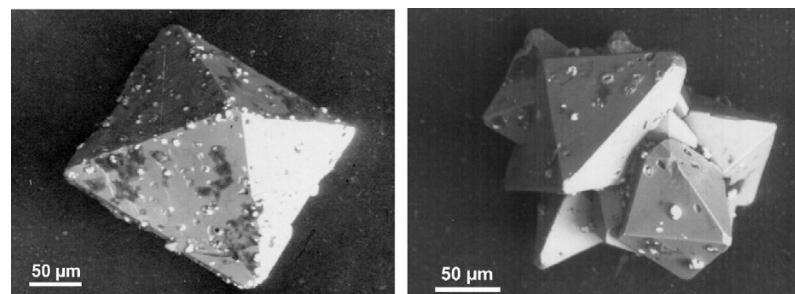


Рис. 9. Микрофотографии кристаллов урансодержащего техногенного циркона ($(\text{Zr}, \text{U})\text{SiO}_4$), извлеченных из матриц черновильских «лав». Фото Б.Е. Буракова, 1990 год

масс (ТМ) на четвертом блоке ЧАЭС (по результатам исследований в 1986–1991 годах). Препринт ИАЭ, М., 1992, 120 с.

11. Чернобыльская авария: дополнение к INSAG-1. INSAG-7. Доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности. МАГАТЭ, Вена, 1993, 146 с.

12. Киселёв А.Н., Чечеров К.П. Модель процесса разрушения реактора четвертого энергоблока Чернобыльской АЭС // Атомная энергия, т. 91, вып. 6, 2001, с. 425–434.

13. Пахомов С.А., Кривохатский А.С., Соколов И.А. Оценка величины мгновенного энерговыделения при аварии реактора на ЧАЭС, основанная на определении отношения активностей ксенона-133 и ксенона-133м в воздухе // Радиохимия, т. 33, № 6, 1991, с. 125–132.

14. Пахомов С.А., Дубасов Ю.В. Оценка величины мгновенного энерговыделения при аварии реактора на ЧАЭС, Труды Радиевого института им. В.Г. Хлопина, т. XIV, 2009, стр. 79–86.

15. Pakhomov S.A. and Dubasov Y.V. Estimation of explosion energy yield at Chernobyl NPP accident, Pure Appl. Geophys., 167, 2010, pp. 575–580.

16. Pöml P. and Burakov B., Study of a «hot» particle with a matrix of U-bearing metallic Zr: Clue to supercriticality during the Chernobyl nuclear accident, J. Nucl. Mater., 488, 2017, pp. 314–318.

17. Pöml P. and Burakov B., Study of the redistribution of U, Zr, Nb, Tc, Mo, Ru, Fe, Cr, and Ni between oxide and metallic phases in the matrix of a multiphase Chernobyl hot-particle extracted from a soil sample of the Western Plume, Radiochimica Acta, 106, 12, 2018, pp. 985–990.

18. Киселев А., Сурин А., Чечеров К. Зафиксированные данные о развитии аварийных процессов на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС. Результаты послеварийного обследования. Бюллетень по атомной энергии, № 4, 2006, стр. 36–42.

19. Shiryayev A.A., Burakov B.E., Vlasova I.E., Nickolsky M.S., Averin A.A., Pakhnevich A.V. Study of mineral grains extracted from the Chernobyl «lava», Mineralogy and Petrology (2020), 114(6), 489–499. DOI: 10.1007/s00710-020-00718-8.

20. Zubekhina B. Yu., Burakov B.E., Leaching of actinides and other radionuclides from matrices of Chernobyl «lava» as analogues of vitrified HLW, J. Chem. Thermodynamics, 114 (2017), 25–29.

21. Zubekhina B., Burakov B., Silanteva E., Petrov Yu., Yapaskurt V., Danilovich D. Long-term aging of Chernobyl fuel debris: corium and «lava». Sustainability 2021, 13, 1073. DOI: 10.3390/su13031073

образцы. Первый позитивный опыт обучения японских специалистов с использованием черновильских образцов был получен в Радиовом институте в октябре 2019 года, но совместную научную кооперацию заморозила пандемия.

Разрушение (и химическое, и механическое) черновильских и фукусимовских «лав» в контакте с водой в течение длительного времени – это предмет серьезного беспокойства, что требует постановки специальных модельных экспериментов с использованием реальных высокорadioактивных образцов [20, 21]. Результаты данных экспериментов имеют прикладное значение и для моделирования поведения остеклованных высокорadioактивных отходов.

Некоторые результаты исследования черновильских образцов, например урансодержащего циркона $(\text{Zr}, \text{U})\text{SiO}_4$, неожиданно послужили основой для разработки инновационных матери-

алов, в частности, устойчивых самосветящихся кристаллов [8]. Продолжение исследований автоматически обновит сферу потенциального применения результатов.

Автор выражает искреннюю признательность Леониду Плескачевскому за предложенную идею и правку данной статьи

1. Боровой А.А., Галкин Б.Я., Криницын А.П., Маркушев В.М., Пазухин Э.М., Херувимов А.Н., Чечеров К.П. Новообразованные продукты взаимодействия топлива с конструкционными материалами четвертого блока Чернобыльской АЭС // Радиохимия, № 6, 1990, с. 103–115.

2. Андерсон Е.Б., Боровой А.А., Бураков Б.Е., Криницын А.П., Пазухин Э.М., Чечеров К.П. Техногенные продукты взаимодействия ядерного топлива

и конструкционных материалов, образовавшиеся в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Радиохимия, № 5, 1992, с. 144–155.

3. Burakov B.E., Anderson E.B., Galkin B. Ya., Pazukhin E. M., Shabalev S. I. Study of Chernobyl «hot» particles and fuel containing masses: implications for reconstruction the initial phase of the accident // Radiochimica Acta, 65, 1994, pp. 199–202.

4. Пазухин Э.М. Лавообразные топливосодержащие массы четвертого блока Чернобыльской АЭС: топография, физико-химические свойства, сценарий образования // Радиохимия, т. 36, № 2, 1994, с. 97–142.

5. Burakov B.E., Anderson E.B., Shabalev S. I., Strykanova E. E., Ushakov S. V., Trotabas M., Blanc J.-Y., Winter P., Ducu J. The behaviour of nuclear fuel in first days of the Chernobyl accident // Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Scientific Basis for Nuclear Waste Management XX, vol. 465, 1997, pp. 1297–1308.

6. Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Боровой А.А., Велихов Е.П., Ключников А.А. Ядерное топливо в объекте «Укрытие» Чернобыльской АЭС. — М., Наука, 2010, 240 с.

7. Боровой А.А., Велихов Е.П. Опыт Чернобыля (работы на объекте «Укрытие»). Часть 1, М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2012, 168 с.; Часть 2, 2013, 162 с.; Часть 3, 2013, 156 с.; Часть 4, 2015, 138 с.

8. Бураков Б.Е. Кристаллические минералоподобные матрицы для иммобилизации актиноидов. Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук, 2013, 186 с.

9. Burakov B.E. Lava-like materials formed and solidified during Chernobyl accident. In: Konings, Rudy JM and Stoller Roger E (eds.) Comprehensive Nuclear Materials 2nd edition, 2020, vol. 2, pp. 525–540.

10. Киселёв А.Н., Ненагладов А.Ю., Сурин А.И., Чечеров К.П. Экспериментальные исследования лавообразных топливосодержащих

Научный голод

Уважаемая редакция!

Пишу вам как представителям значимого и читаемого издания «Троицкий вариант».

Прошу вас осветить в небольшой заметке в газете проблему, которая, казалось бы, незаметно возникла для сотрудников Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН.

Я направил письма президенту Академии наук и руководителю Профсоюза работников РАН, но вряд ли они отреагируют без мощного инфополюса. Честно сказать, мне кажется, что без огласки вряд ли что-то изменится. Возможно, вы сможете подробнее разобраться в ситуации и помочь научному сообществу.

Некоторое время назад (по непроверенной информации) произошел конфликт между администрациями ФИАна и ИОФРАна, в результате чего под предлогом «обеспечения раздельных контуров безопасности» ворота и калитки между территориями этих двух исторически связанных организаций в Москве были закрыты на замки (территория в квартале улиц Вавилова, Губкина, Ляпунова и Ленинского проспекта). Еще несколько лет назад, в «доковидное» время, территории институтов были открыты для свободного прохода научного персонала, что способствовало местной «академической мобильности», можно было приходить на научные семинары соседей, легко взаимодействовать

с коллегами, посещать столовые, находящиеся на территории ФИАна. Именно к последнему я хочу привлечь ваше внимание.

Сейчас внутренние проходы между институтами заварены и закрыты на цепи и замки. Научные сотрудники ИОФРАна оказались лишены общепита, остались без доступа в столовые. Обращения Совета молодых ученых по этому поводу воспринимаются «в штыки». Прошу вас обратиться одновременно к руководству двух институтов — Физического института им. П.Н. Лебедева РАН и Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН, чтобы разрешить их «территориальные споры», и дать возможность сотрудникам иметь свободный проход между институтами, в том числе восстановить возможность обедать в двух столовых ФИАна сотрудникам ИОФРАна — это важная часть быта работников, так как питание непосредственно в лабораториях запрещено. Кроме того, аргументом в пользу работников может быть то, что, согласно Федеральному закону от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 11.06.2022) «Об образовании в Российской Федерации», ст. 37, п. 1, организация питания обучающихся возлагается на организации, осуществляющие образовательную деятельность, а ИОФРАН является такой организацией и имеет свидетельство о государственной аккредитации образовательной деятельности № 3423 от 27 августа 2020 года, и в интересах руководства договориться с соседями и дать возможность аспирантам и сотрудникам нормально питаться.

Ранее всё было нормально, и все могли свободно проходить (об этом свидетельствуют таблички у ныне запертых ворот). «Паны дерутся, а у холопов чубы трещат», — верно свидетельствует народная поговорка. Надеюсь, что под крышей нашей Академии наук всё же возобладает разум, а «театр безопасности» закончит свое представление. Прошу поспособствовать восстановлению свободного прохода между академическими институтами и организации общественного питания для всех сотрудников.

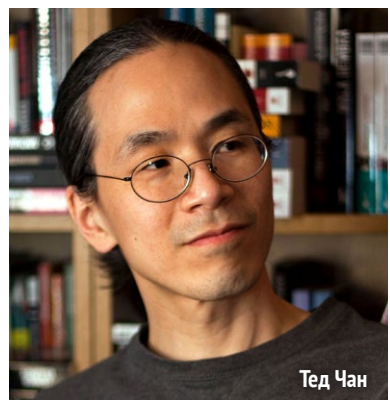


*С уважением,
научный волонтер Антон Харчевский*

Лет шестьдесят назад советский изобретатель, автор ТРИЗ (теории решения изобретательских задач) Генрих Альтшуллер (он же — известный писатель-фантаст **Генрих Альтов**) начал собирать «Регистр научно-фантастических идей и ситуаций». За двадцать лет он собрал и классифицировал более десяти тысяч научно-фантастических идей. Анализируя их, Альтшуллер, а также мы с Романом Леонидовым обнаружили несколько десятков приемов, с помощью которых можно придумывать новые научно-фантастические идеи. Часть приемов совпадала с известными приемами ТРИЗ, а часть использовалась только в НФ.

Собранный материал, а также последующее исследование новых НФ-идей и ситуаций, не вошедших в Регистр, позволили впоследствии перейти к следующему этапу: изучению эволюции научно-фантастических идей. Изучение динамики НФ идей позволило в свою очередь сделать вывод о существовании «фантастической науки», развивающейся «параллельно» науке обычной¹.

Рассмотрим для примера последовательность НФ-идей, связанных с понятием физического многомирия. В фантастике давно уже описывают различные параллельные миры. Первопроходцем этой идеи был **Герберт Уэллс**. Герой рассказа «Дверь в стене» (1905) Уэллс, будучи ребенком, открывает в стене небольшую дверь и оказывается в прекрасном саду. Вернувшись, он больше не может отыскать заветную дверь и вновь оказывается в прекрасном мире. Тему «иных миров» Уэллс продолжил в романе «Люди как боги» (1923). На этот раз герои романа оказываются в неизвестном мире по воле случая.



Тед Чан

Фото Arturo Villanueva

Эти две идеи надолго исчерпали варианты попадания героев фантастики в «иную вселенную». Один вариант — через «дверь», «портал», «ворота» и пр. Другой — по воле случая и без видимой причины. Эти идеи были сугубо фантастическими. Это даже не идеи, а, как сейчас говорят, фантастические допущения². НФ-идея обычно имеет свою причину (возникает из реальной ситуации при помощи фантастического приема) и следствия, которые автор может проследить и предсказать новые идеи, вытекающие из данной. Параллельные миры — пример фантастического допущения. Это просто другая формулировка принципа «что будет, если...»

Качественный скачок в НФ произошел после публикации в 1941 году рассказа **Хорхе Луиса Борхеса** «Сад расходящихся тропок». Здесь «другие миры» получили логическое обоснование, причину возникновения и стали новой фантастической идеей: каждое мгновение мироздание ветвится и напоминает расходящиеся друг от друга тропинки сада.

¹ Амнуэль П. Наука фантастических открытий // ТРВ-Наука № 128, 07.05.2013. trv-science.ru/nauka-fantasticheskikh-otkrytij/

² Амнуэль П. Научная фантастика: идеи лучше допущений // ТРВ-Наука № 299, 10.03.2020. trv-science.ru/fantodopy/

Наука и научная фантастика: эволюция идей

Павел Амнуэль



Интересно, что впервые в литературе идея ветвления реальности появилась на 14 лет раньше — в малоизвестном рассказе советского автора **Рюрика Ивнева** «Владивостокский старик» (1927). Опубликованный в одной из дальневосточных газет рассказ не оказал в то время никакого влияния на развитие этой фантастической идеи.

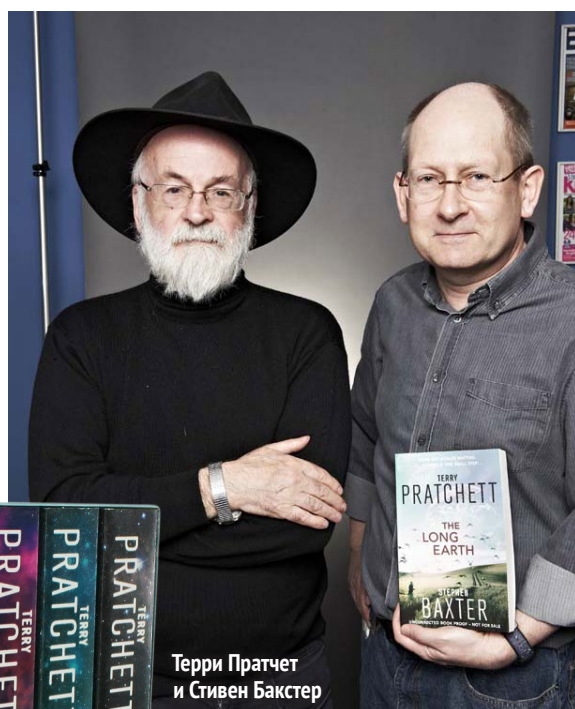
«Я часто думаю о том, что помимо той основной жизни, которой мы живем, в нас существует... не скажу миллионы, но, во всяком случае, сотни тысяч жизней. Например, я приехал во Владивосток ровно десять лет назад, то есть в 1916 году. До этого я жил в Петербурге. Когда я решил покинуть столицу, у меня было два выбора: Киев и Ташкент. Десять лет я живу здесь, так сказать, основной жизнью. Но ведь если бы я выбрал Киев, то жизнь моя продолжалась бы, но совершенно в другой обстановке, и не так, как здесь, а по-другому. Значит, теоретически эта жизнь тоже существует, параллельно моей основной жизни. Ну, а если бы я поехал в Ташкент? Вот вам и вторая теоретическая жизнь. Но всё это только капля в море по сравнению с теми разветвлениями, которые возникли бы как по киевской, так и по ташкентской „линии“».

В рассказе **Джека Уильямсона** «Легион времени» (1938) можно найти такие слова: «Число возможных геодезических ветвлений бесконечно растет по прихоти субатомной неопределенности».

Научной из научно-фантастической идея ветвления стала в 1957 году, когда **Хью Эверетт** защитил докторскую диссертацию и опубликовал статью в журнале *Review of Modern Physics*.

До начала 1990-х годов — до того времени, когда физики стали серьезно изучать многомировую интерпретацию квантовой механики, — авторы-фантасты продолжали плодить многочисленные параллельные миры, т.е. фантастические допущения ad hoc. Были и исключения, например роман советских авторов **Ариадны Громовой** и **Рафаила Нудельмана** «В Институте времени идет расследование» (1973). Идея ветвления миров описана там вполне определенно: каждое событие, происходящее с персонажами, создает новую физическую реальность, отделившуюся от прежней.

Первоначальные идеи связаны с самим понятием ветвления и иллюстрируют лишь научно-фантастический «факт» возникновения пучка реальностей. Следующий шаг — в романе **Айзека Азимова** «Сами боги» (1972). Рассмотрены две независимо развивающиеся вселенные, но с двумя существенными и новыми идеями, приближающими этот роман к твердой научной фантастике. Первая идея естественно вытекает из идеи многих вселенных. Это идея физического взаимодействия. Вторая — различные физические законы в разных вселенных. Эти две идеи впоследствии очень активно разрабатывались другими авторами. Так, в романе **Фредерика Пола** «Нашествие квантовых котов» (1986) квантовые коты, наводнившие Землю, могут пользоваться знаниями из других вселенных: «Их эволюция и исследования продвигались в сотни раз быстрее наших: они учились тому, что знали другие. Из одного мира они получили компьютерную технологию, из другого — космические спутники, термоядерный синтез, генетическую инженерию, фантастическую химию и изумительную медицину...»



Терри Пратчетт и Стивен Бакстер

Фото Joseph Branson

В рассказе **Пола Мелкоу** «Девять сигм» (2008) — одна из первых идей о том, что все «я» в практически бесконечном числе миров являются составляющими единой мыслящей системы (мультивидуум).

Практически все предыдущие многомировые идеи обобщил (и к ним добавил новые) **Нил Стивенсон** в фундаментальном романе «Анафем» (2008). Главная идея: миры («повествования», как это называют персонажи Стивенсона) ветвятся, но при этом сохраняется интерференция (взаимодействие) различных ветвей, которая воспринимается сознанием. «Единственное отличие мозга — в том, что он научился этим пользоваться». Существует возможность перехода не только идей, но и материальных тел из одного «повествования» в другое. Результатом становится иная биохимия, приводящая, например, к тому, что организм человека не может усваивать пищу, произведенную в ином «повествовании» (и наоборот).

Фундаментальное отличие идей Стивенсона в том, что в большинстве

своем фантасты рассматривали недавние произошедшие ветвления. В «Анафеме» это случилось на самых ранних стадиях после Большого взрыва. Именно тогда, когда физические законы еще только формировались, мироздание расщепилось, и в каждом возникли немного иные законы взаимодействия, возникло то, что герои романа называют «новоматерией». «На самом деле» речь идет о мирах с разными физическими постоянными.

Что происходит после «расхождения» миров? По Стивенсону, они взаимодействуют, и это взаимодействие воспринимается сознанием. «Сознание усиливает слабые сигналы, которые, как протянутая между деревьями паутина, связывают повествования между собой. Более того, усиливает избирательно и таким образом, что возникает положительная обратная связь, направляющая повествования».

Дополнительная идея романа: перемещения между мирами возможны потому, что Вселенная вращается, и существуют решения уравнений ОТО, допускающие, что во вращающейся Вселенной материальное тело способно перемещаться обратно во времени. Однако принцип причинности привел к тому, что звездолет отправился в прошлое не собственной Вселенной, а был выброшен в соседнюю.



Павел Амнуэль

Фантастическая наука (изображение науки в научной фантастике) развивается параллельно «обычной» науке, часто ее опережая в своих построениях. Идеи многомирия (в том числе — по Эверетту) всё чаще становятся главными идеями научной фантастики. В фантастической науке происходит тот же процесс, что в реальной физике: с обочины науки многомировое представление перемещается к центру и становится мейнстримом.

По идее, следующим шагом в развитии идей разветвленного многомирия должно было стать существование бесконечного числа миров, ответивших друг от друга в очень давние времена и развивавшихся независимо (в том числе и с разными законами природы). Эту идею развили **Стивен Бакстер** и **Терри Пратчетт** в серии из пяти романов «Бесконечная Земля» (2012–2016).

Со временем НФ-идеи, связанные с многомирием, становятся всё более сложными и многогранными. В частности, новой НФ-идеей стала возможность перемещений в космосе, не связанных с полетами на космических аппаратах. Перемещение, например, на планету Икс в системе Бетельгейзе происходит с Земли реальности 1 на планету Икс в реальности 2 (Павел Амнуэль, «Завещание», 2008, и «Поводырь», 2014).

Следующий шаг — большой роман **Нила Стивенсона** и **Николя Галланда** «Взлет и падение Д.О.Д.О.» (2017). Здесь уже считается очевидным, что перемещение в прошлое возможно только с перемещением в другую реальность, а потому изучать события прошлого, во-первых, необходимо, учитывая, что прошлое это относится к другому миру, и, во-вторых, здесь на новом уровне вновь возникает идея Уэллса из «Войны миров» об опасности занесения болезней из одного мира в другой.

И, наконец, два последних по времени обращения зарубежных фантастов к теме многомирия: роман **Тома Светирлича** «Исчезнувший мир» (2018) и рассказ **Тед Чана** «Тревожность — это головокружение свободы» (2019). Если в предыдущих НФ-идеях авторы исследовали современные следствия идеи ветвления или пытались отправиться в прошлое, то Светирлич поступает наоборот: отправляет персонажей в ветвящееся будущее. В далеком будущем возникает некий Рубеж — гибель Вселенной, причем Рубеж перемещается в прошлое, приближается к настоящему времени, и это происходит во всех ветвях многомирия.

В относительно небольшом рассказе Чана подробно описан процесс получения информации из ответившей реальности. «Когда призма активировалась и вселенская волновая функция расщеплялась на две ветви, эти ионы оставались в состоянии когерентной суперпозиции и балансировали на лезвии бритвы, доступные обеим ветвям. Соответственно, призма не была подобна радио, соединявшему две ветви; при ее активации не включался передатчик, на частоту которого можно было настроиться. Она скорее напоминала блокнот, общий для двух ветвей, и при каждой отправке сообщения от верхнего листа отрывалась полоса. Когда блокнот кончался, обмен информацией становился невозможен, и две ветви навеки расходились».

Развитие НФ-идей происходит согласно общим принципам развития научного знания. Научные гипотезы и теории подвергаются проверке (фальсификации) в ходе наблюдений и экспериментов. Научно-фантастические идеи проверяются в ходе мысленных экспериментов авторов научной фантастической литературы. ♦

Интерес к наследию античных цивилизаций возник отнюдь не одновременно в эпоху Возрождения, он медленно, шаг за шагом, разгорался на Средневековом Западе, начиная со времен Карла Великого, когда последние волны великого переселения народов сменялись шаткой стабильностью первых варварских королевств. Разница была лишь в том, что в эпоху Возрождения увлечение античностью стало носить повальный характер, а во времена Раннего Средневековья историей и достижениями греко-римской цивилизации интересовалась лишь небольшая группа интеллектуалов, пытавшаяся сохранить преемственность культурных, технологических и интеллектуальных традиций, идущих из древности. Отсюда произрастают корни таких идей, как основание Британского королевства потомком троянца Энея — Брутом I Троянским, — что как бы делало Британию равной Риму, также основанному потомками Энея. Создаются многочисленные «родословные», которые связывают римских императоров с французскими и английскими королями, позже аналогичный процесс будет описан в русских летописях, когда окажется, что Рюрик является чуть ли не прямым потомком императора Августа. В этот же период благодаря стараниям средневековых интеллектуалов развивается не только историческая наука, но и художественная литература.

Так, придворный историограф короля Англии Генриха II Плантагенета, французский поэт Бенуа де Сент-Мор в середине XII века написал куртуазный «Роман о Трое». Произведение стало первым письменным пересказом истории Троянской войны в средневековой Европе, однако роман основывался не на «Илиаде» Гомера, а на двух более поздних текстах, написанных якобы участниками событий — «Дневнике Троянской войны» IV века Диктиса Критского и «Повести о разрушении Трои» VI века Дарета Фригийского. Чем же уникален роман де Сент-Мора? А тем, что в нем встречается описание искусственных людей!

Автор верхами пронесит по мифологической истории Древней Греции, начиная повествование с завоевания Ясоном Золотого руна, рассказывает про Медею и похищение Елены Парисом, а заканчивает разрушением Трои, изображая подвиги, рыцарские поединки и смерть героев — Патрокла, Гектора, Троида, Ахилла и Париса.

Описав похищение Елены Прекрасной, поэт рассказывает о чудесной свадебной комнате, или зале (Chambre de Beautés), отданной Приамом Парису и Елене. Зала вырезана из алебаstra и в изобилии украшена драгоценными камнями — от сапфиров и топазов до рубинов и прозрачных карбункулов. В четырех углах комнаты находятся механические статуи людей в натуральную величину, прекрасные, как ангелы, сделанные из золота и взгромоздившиеся на колонны из драгоценных камней.

Одна из фигур, изготовленная в виде молодой девушки, держит зеркало, чтобы хозяйка комнаты могла увидеть свое отражение и поправить прическу или платье. Вторая девушка, акробатка, этаким развлекательный автомат, целый день шутит, танцует и совершает различные трюки, забавляя молодежников. Третья скульптура сидит на троне, исполняя музыку на всевозможных инструментах, а потом разбрасывает живые цветы, устилая ими полы зала. Последняя золотая статуя, изображающая мальчика, несет кадило, в котором сжигаются ароматические масла и лечебные травы, которые исцеляют от недугов тело и укрепляют дух.

Бенуа де Сент-Мор, описывая удивительные автоматы, не пытается объяснять, каким именно образом искусственные люди приводятся в действие. Его интересует не техническая или магическая сторона вопроса, а зала, созданная по образу рая, наполненная всевозможными источниками наслаждений, чудесная идиллия, укрывающая влюбленных от внешнего мира настолько основательно, что даже потребности молодежи исполняют автоматы, а не живые слуги.

Примерно в эти же годы появляется еще одно произведение об истории Древней Греции — анонимный «Роман об Энее», который представляет свободное переложение «Энеиды» Вергилия. В нем также фигурирует искусственный человек, однако совсем в ином, отличном от «Романа о Трое» качестве. Автор произведения рассказывает о бегстве Энея из разрушенной ахейцами Трои и описывает скитания героя в поисках новой родины. В Италии Эней и его соратники вступают в битву с королем рутулов Турном, которому на помощь приходит целомудренная дева-воительница, дочь царя вольсков — прекрасная Камилла. Эта древняя предшественница

История роботов и автоматов

Роботы в литературе Высокого Средневековья

ца Жанны д'Арк погибает в бою, а ее соотечественники, желая почтить память воительницы, сооружают настоящий мавзолей. Пока тело девушки бальзамируют и умащивают ароматическими маслами, строители возводят настоящее архитектурное чудо, украшенное драгоценными камнями, барельефами животных и растений. А чтобы покой прекрасной воительницы никто не мог нарушить, мастера сооружают статую золотого лучника, который охраняет могилу Камиллы.

Сходный образ искусственных людей появляется в начале XIII века в произведении «Ланселот Озерный» (ок. 1220), где главный герой, один из будущих центральных персонажей легенд об Артуре и рыцарях круглого стола, навещается в неприступный замок, который охраняют медные рыцари. Сразив металлических стражей, Ланселот заходит внутрь замка, где сталкивается еще с двумя медными рыцарями, охраняющими комнату. Он бросает им вызов и в конце концов побеждает и эти автоматы. Путь свободен, в комнате герой встречает молодую женщину, тоже сделанную из меди, держащую в руке ключи от волшебной шкатулки. Ланселот отпирает этот «ящик Пандоры» — и комнату наполняют ужасающие звуки, которые издают тридцать медных трубок, находящихся внутри шкатулки. Герой теряет сознание, а очнувшись, обнаруживает, что медная девица исчезла, а металлические рыцари разбиты на куски. Таким образом, как нетрудно догадаться, именно магия, заключенная в шкатулке, позволяла медным людям существовать, а когда Ланселот открыл шкатулку, чары рассеялись.

Похожий эпизод описывается в продолжение рыцарского романа конца XII века «Персеваль, или Повесть о Граале» Кретьена де Труа. Молодой рыцарь попадает в проклятый замок, где побеждает медного быка, внутри которого поселился демон. Автоматы также выступают в роли охранников в анонимном произведении XII века «Роман об Александре», написанном по мотивам историй о великом полководце древности Александре Македонском. Среди переплетений реальности с фантастическими мифами встречается эпизод, в ходе которого армия Александра пытается переправиться через мост, который охраняют два юноши, отлитые из чистого золота: они хороши собой, а лица их милы. Надписи у моста сообщают Александру, что металлических людей сделали авгуры, под которыми в данном случае подразумеваются не члены римской жреческой коллегии, предсказывавшие будущее по поведению птиц, а самые настоящие демонические колдуны.

Интересно, что примерно в то же время римский поэт Вергилий, автор бессмертной «Энеиды», в глазах средневековых романистов превращается в мага, провидца и создателя автоматов. Так, в произведении «Поликратик, или О забавах света и заветах философов» (ок. 1159) англо-французского богослова и гуманиста Иоанна Солсберийского говорится, что Вергилий помимо прочих чудес создал бронзовую муху, которая отгоняла обычных насекомых.

Другой английский гуманист, современник Иоанна Солсберийского Александр Неккам, упоминает об автоматах Вергилия в трактате «О природе вещей». Неккам говорит, что Вергилий уничтожил ядовитых пиявок с помощью искусственной золотой пиявки. Эта история своим нарративом напоминает рассказ о бронзовой мухе, упомянутой Иоанном Солсберийским. Однако самым удивительным из творений Вергилия, по словам Неккама, стала сложная система оповещения о бедствиях (похожая на сигнализацию), которые грозят Рим-

ской империи¹. Она работала с использованием нескольких автоматов. Неккам описывает дворец, построенный Вергилием в Риме, в который мастер поместил деревянную статую. Статуя держала в руке колокол и звонила в него всякий раз, когда в какой-нибудь провинции готовилось восстание. В то же время бронзовый рыцарь, восседавший на бронзовом коне на крыше дворца, направлял копье в сторону мятежной провинции, чтобы император мог послать туда войска для наведения порядка.

Спустя двадцать лет английский писатель Гervasий Тильберийский упомянул о подобных чудесах в сочинении «Императорские досуги». Гervasий повторяет историю Иоанна Солсберийского о мухе, созданной Вергилием, чтобы решить проблему с гниющим мясом, на которое слетались настоящие насекомые. Гervasий также приписывает Вергилию создание бронзовой статуи, воздвигнутой на противоположной от извергающегося Везувия горе и защищавшей Неаполь от ядовитых паров и вулканического пепла, сдувая их ветром из своей трубы.

Таким образом, все автоматы Вергилия исполняли роль охранников и защитников Римской империи или каких-то локальных территорий от враждебных сил природы или врагов. Вполне возможно, что источниками рассказов об искусственных защитниках и хранителях стали различные версии древнегреческого мифа о защитнике Крита — великане Талосе.

Идея автоматов продолжает набирать обороты в средневековой литературе, возможно, вдохновляясь историей любви Пигмалиона к статуе, начерпнутой средневековыми интеллектуалами из «Метаморфоз» Овидия. Так, анонимный французский роман XII века «Флуар и Бланшефлор» (ок. 1170) повествует о Флуаре, сыне языческого короля Филиса, который влюбился в Бланшефлор, дочь христианской пленницы. Отец Флуара недоволен выбором сына и отправляет юношу в далекое странствие, а девушку решает убить, но уступает просьбам королевы и приказывает

продать Бланшефлор проезжим купцам. Флуару отец говорит, что его подруга умерла, и с целью придать вес этой лжи король строит гробницу для Бланшфлор. Мнимый мемориал воздвигнут самыми искусными «камнеделами» и «златокузнецами», украшен изображениями животных, птиц, змей, рыб, инкрустирован драгоценными камнями, убран эмалью, мрамором и хрусталем. Поверх могилы мастера воздвигли две детские фигуры: «Глаз не верит тот, кто зреть их, детей, из золота отлитых. Один из них с Флуаром схож так, что отличья не найдешь. Столь же другой необычен, он в виде Бланшефлор изваян, дарящей милому цветок²». Когда ветер касался статуй, они целовались, обнимали друг друга и произносили с помощью «силы колдовства» слова любви. Когда порыв ветра стихал, фигуры перестали говорить и двигаться.

Автоматы имитируют речи и действия молодых людей, иллюстрируя всем любовь Бланшефлор и Флуара. Гробница — это оживший памятник бессмертной любви. Когда Флуар возвращается домой, отец показывает ему могилу Бланшефлор, и молодой человек, убитый горем и убежденный в смерти своей возлюбленной, использует мемориал в качестве посредника, чтобы



Александр Речкин

вновь и вновь переживать свою любовь с Бланшефлор, наблюдая, как статуи разыгрывают сцены любви. Молодой человек погружается в полнейшее уныние и черную меланхолию, и даже приглашенный чародей не может ему помочь. Поэтому мать тайком сообщает Флуару, что Бланшефлор жива и находится далеко на востоке, в древнем городе Вавилон. Флуар снаряжает корабль и отправляется в путь. Рассказывая о Вавилоне, автор произведения упоминает о новых чудесах и автоматах, которые находятся в дворцовом саду эмира, где в девичьей башне заточена Бланшефлор. Сад окружен стеной, которую венчает

*Лазурно-золотой узор
И ряд, поверх его зубцов
Сидит диких птиц птенцов
Из бронзы сделанных: едва ли
Подобных где-нибудь видали.
Дунь ветер, испускают трель,
Какой не слышал мир досель.*

Снова нам встречаются скульптуры, на этот раз птицы, которые издают мелодичные трели, когда дует ветер. Прекрасные дворцовые сады, наполненные механическими животными, деревьями, изготовленными из металлов и украшенные драгоценными камнями, а также механические служанки и музыканты. Они являются отличительной особенностью средневековых парковых и садовых комплексов, раскинувшихся на территории Ближнего Востока, Индии, Китая и Монголии. Французский роман заполнен вовсе не небылицами, он рассказывает о вполне реальных местах и сооружениях, пропущенных сквозь призму слухов и рассказов западноевропейских путешественников, миссионеров и купцов. Интересно, что сад охраняют вполне обычные воины и евнухи, а не медные солдаты — возможно, во многом благодаря этому влюбленным удастся встретиться, а история Бланшефлор и Флуара завершится хеппи-эндом.

Живые статуи, похожие на описанные в романе «Флуар и Бланшефлор», появляются в произведении «Сага Тристрама и Исонды» (1226) норвежского монаха брата Роберта, который перевел на древнескандинавский язык и адаптировал «Роман о Тристане» (ок. 1155–1160) англо-нормандского поэта Томаса Британского. Брат Роберт описывает зал статуй, напоминающий одновременно чудесную комнату из «Романа о Трое» и мемориал из «Флуар и Бланшефлор».

Главный герой произведения, сэр Тристрам, он же знаменитый Тристан, во время поисков своей возлюбленной Исонды-Изольды совершает множество подвигов. Среди прочего он побеждает великана, которому приказывает построить сложный памятник, который увековечит Исонду, — дело в том, что Тристрам считает, что его дама сердца умерла. Великан совместно с искусными иноземными ремесленниками и ювелирами строит своеобразную диораму. Кроме статуи Исонды мастера создают девушке служанку и собаку, а охраняют мемориальный комплекс огромный истукан и медный лев. Все животные и люди выглядят так, словно они живые. Тристрам посещает диораму, предаётся воспоминаниям и грустит по возлюбленной. Копия Исонды, сообщает нам автор произведения, настолько совершенна, что любовью, кто бы на нее ни взглянул, не верит, что девушка на самом деле неживая. В одной руке она держит скипетр, на котором золотая птица бьет крыльями, а в другой сжимает кольцо, на котором выгравированы последние слова, которые Исонда сказала Тристраму. В груди статуи находится сундук, наполненный ароматическими маслами и травами. Автомат дышит и выдыхает чудесно пахнущие пары из своих уст.

История Тристрама — это инверсия легенды о Пигмалионе. Пигмалион сделал статую женщины, но она не стала личностью, пока не была оживлена Афродитой-Венерой. Тристрам создал точную копию Исонды, которая заменяет человеческую личность. И в истории Пигмалиона, и в истории Тристана искусство почти неотличимо от природного творения. Читатели понимают, что Тристан сошел с ума от любви и горя, которые вдохновили его на создание Зала статуй.

Как мы видим, на протяжении нескольких веков роботы в средневековой литературе становятся всё сложнее и совершеннее, автоматы проходят путь от простых охранных статуй, регораживающих путь рыцарям или армиям, до уникальных творений, которые не только могут говорить и дышать, но и выглядят точь-в-точь как реальные люди.

Александр Речкин



Битва Ланселота с автоматами.
Парижская национальная библиотека, Arsenal, 3479, f.442

¹ Что-то вроде пушкинского Золотого петушка из сказки о царе Дадоне.

² Здесь и далее перевод романа Анатолия Наймана.

«Полностью нормальный, только гений»

Одним из самых ярких физиков, побывавших в ассистентах Борна, был Вольфганг Эрнст Паули, характерный представитель поколения «вундеркиндов», продолживших революцию в науке. Второе имя — Эрнст — Паули получил в честь крестного отца, философа Эрнста Маха, с которым был дружен отец Вольфганга. Философские и физические труды Маха оказали заметное влияние на многих ученых в конце XIX — начале XX веков. Известно, что в начале научной деятельности Эйнштейна ему были близки идеи Маха о несостоятельности ньютоновской концепции «абсолютного пространства», которое Мах называл «чистой выдумкой, которую нельзя увидеть в опыте» (Айзексон, 2016, стр. 121).



Вольфганг Паули, 1920 год

Но, пожалуй, ни на кого из физиков Мах не оказал такого воздействия, как на Вольфганга Паули. Еще будучи учеником венской гимназии, тот вместе с отцом не раз навещал уже не очень здорового Маха у него дома. Паули вспоминал об этих визитах: «Мах был настоящим мастером в области проведения опытов. Его квартира была полна призм, осциллоскопов, стереоскопов, электрических машин и т. д. Когда я приходил к нему, он всегда показывал мне какой-нибудь интересный опыт... Мах был убежден во вселенской правомочности своего способа мыслить, основанного на чувственном восприятии и результатах опытов, которые он сам проводил» (Carretero, 2015, стр. 22).

После окончания венской гимназии Вольфганг решил учиться физике в Мюнхенском университете, где стал посещать семинар Арнольда Зоммерфельда по общей теории относительности.

Уже через несколько месяцев восемнадцатилетний студент опубликовал первую научную работу, поразившую его учителя. Зоммерфельд предложил Паули написать статью для знаменитой «Энциклопедии математических наук» (Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften), идея которой принадлежала Феликсу Клейну. Статья вылилась в крупную монографию на 250 страниц, в библиографии указано более 400 источников. Макс Борн вспоминал об этой книге: «Паули закончил эту работу как раз перед защитой диссертации. Я думаю, что даже сегодня, спустя двадцать пять лет, это лучшее представление теории относительности среди всех существующих» (Born, 1975, стр. 290).

Сам Эйнштейн, автор теории относительности, обычно строгий критик чужих работ, восторженно похвалил книгу Паули, заметив, что «никто из тех, кто читал эту великую работу, не может поверить, что ее автору всего двадцать лет» (Carretero, 2015, стр. 30).

Макс Борн и Вольфганг Паули

Из истории создания квантовой механики

Евгений Беркович

После того, как Паули блестяще защитил в 1922 году докторскую диссертацию, Зоммерфельд предложил Макс Борну взять его ассистентом в Гёттинген. Борн, всего несколько месяцев назад вступивший в должность профессора, вспоминал: «Мы познакомились с Паули в Эрвальде в Тироле, где я проводил отпуск... Я вспоминаю, как Паули в этом величественном горном ландшафте дискутировал о физических проблемах. Духовно расслабиться в обществе этого динамичного человека было невозможно» (Born, 1975, стр. 290).

В письме Эйнштейну от 11 октября 1921 года Борн нахваливает своего нового ассистента: «Он поразительно умен и очень способный. При этом он человечен, соответствует своим 21 годам, вполне нормален, весел и ребячлив» (Einstein — Born, 1969, стр. 88).

Борн не ошибся: трудно найти ученого, равного Паули по силе физической интуиции. Когда они вместе работали над изощренными проблемами теории возмущений и ее применением в квантовой физике, то он больше узнавал нового от Паули, чем тот от него. Но в качестве ассистента профессора от Паули было мало проку. Вольфганг, родившийся в Вене, оставался всю жизнь богемным юношей, любил ночную жизнь, театры, развлечения. А оставшуюся половину ночи работал, решая физические задачи.

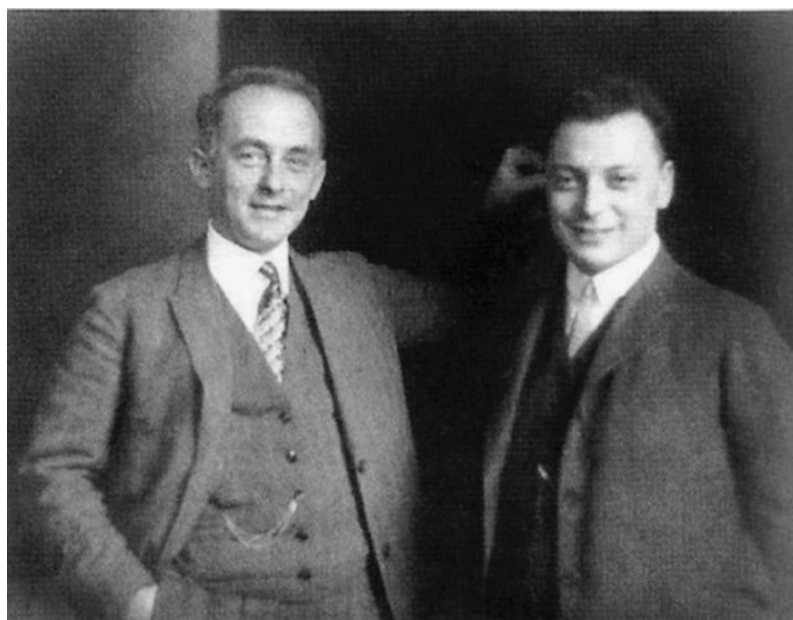
Такой стиль жизни сложился еще в Мюнхене. Лекции Зоммерфельда начинались в девять утра. Прийти к началу было для Паули невозможно. Он договорился с профессором, чтобы тот не стирал с доски последние формулы, а Паули, придя в полдень, по ним восстанавливал весь ход лекции. Зоммерфельд, сразу оценивший гениальность своего ученика, не возражал.



Вольфганг Паули, фото на паспорт, 1929 год

Соседи Паули в тихом провинциальном Гёттингене пугались, видя на рассвете, как он сидит за письменным столом и раскисывается, словно молящийся Будда. Макс Борну приходилось успокаивать их, объясняя, что он «полностью нормальный, только гений» (Born, 1975, стр. 291).

Борн, которому осенью 1921 года пошел сороковой год, чувствовал себя не очень хорошо: обострилась бронхиальная астма, которой он страдал с детства. Другу Эйнштейну он жаловался в октябре, что в конце июня простудился, и хотя три недели провел в Эрвальде в Тироле, до конца так и не восстановился. Как обычно,



Профессор в шутку наказывает нерадивого ассистента. Макс Борн (слева) и Вольфганг Паули, 1925 год

осложнением простуды стала астма: «В течение месяцев ни одна ночь не проходила без астматических приступов» (Einstein — Born, 1969, стр. 88). Положение осложнялось тем, что начинался учебный семестр, в котором Борн читал студентам лекции в первой половине дня с 11 до 12 часов. В дни, когда профессор был прикован к постели, его должен был заменить ассистент. Но Паули после ночной работы часто об этом забывал. Чтобы лекция не сорвалась, Борн в половине одиннадцатого посылал к Паули служанку, и она часто находила молодого ассистента спящего как ни в чем не бывало (Born, 1975, стр. 291).

Паули не значился среди авторов первых статей, положивших начало квантовой механики как самостоятельной ветви физики со своим математическим аппаратом и соответствующим формализмом. Но можно уверенно сказать, что он участвовал в их написании конструктивными советами и критическими замечаниями. Позднее и сам Паули внес существенный вклад в развитие новой науки, предложив в 1924 году важный «принцип запрета», носящий теперь его имя. Он же предсказал открытие элементарной частицы «нейтрино» и глубоко исследовал новую характеристику элементарных частиц, названную «спином». Паули известен острой критикой работ коллег, его называли «совестью физики».

Ассистентом у Борна Паули пробыл недолго — уже в следующем, 1922 году, на смену Паули из Мюнхена в Гёттинген приехал другой гениальный ученик Зоммерфельда — Вернер Гейзенберг. В своих воспоминаниях «Часть и целое» Вернер писал о Паули: «Во всё последующее время, до самой своей смерти, он исполнял для меня и для дела, которое я пытался делать в науке, роль всегда желанного, хотя зачастую и очень резкого критика и друга» (Гейзенберг, 1989, стр. 157).

Расставание Паули с Борном прошло, как говорится, «без слез»: профессору нужен был другой ассистент, а юному исследователю — другой научный руководитель и соавтор. Научный стиль Борна, ставящий на первое место математическую модель и расчеты, был чужд стилю Паули, опиравшемуся прежде всего на физическую интуицию и наглядные модели. В этом смысле Вольфганг относился, скорее, к копенгагенской школе Нильса Бора. К ней же причисляли себя

Джеймс Франк, Вернер Гейзенберг и многие другие физики первой половины XX века.

Авторитет Нильса Бора был так высок, что это иногда раздражало директора института теоретической физики Гёттингенского университета. По словам Макса Борна, не раз происходило следующее: «Мы основательно обсудили какую-то проблему и пришли к решению. Через некоторое время я его спрашиваю: „Вы уже начали этот эксперимент?“, на что он отвечает: „Нет, как раз написал Бору, а он мне еще не ответил“» (Born, 1975, стр. 189–190).

Макс Борн вместе со своими ассистентами исследовал те физические явления, для которых полуклассическая теория Бора давала неверные результаты. Вера в гениальность Нильса Бора у Джеймса Франка была столь велика, что каждый такой случай он старался согласовать с датским основоположником. И если решение какой-то проблемы приходило не из Копенгагена, а из соседней комнаты физического института в Гёттингене, Франк был очень удивлен. Это, конечно, злило Макса, но не мешало его дружбе с Джеймсом.



Нильс Бор. Фото из специального выпуска журнала *Naturwissenschaften*, посвященного десятилетнему юбилею боровской теории атома, 1923 год

Стремление к максимальной математической строгости выражалось у Борна использованием разнообразных индексов у математических переменных. Над этим не преминул посмеяться острый на язык Паули. В поздравительном послании по слу-

чаю шестидесятилетия Макса Бора он написал, что у него родилась идея: «Вместо банального торта с шестидесятью свечками испечь огромный пряник в форме математического символа, скажем, буквы „B“, с шестидесятью различными индексами» (Meуenn, 2007, стр. 41).

В целом, в Гёттингене господствовал идущий еще от Гильберта культ математики и вера в ее могущество в познании реального мира.

Вольфганг Паули был другого мнения и облегченно вздохнул, перебравшись весной 1922 года в недавно открытый Гамбургский университет, став ассистентом профессора Вильгельма Ленца. В этом большом портовом городе, где жизнь кипела и ночью, и днем, Паули провел следующие семь лет, прервавшись на год для работы у Бора в Копенгагене. Шумный и веселый Гамбург значительно лучше соответствовал характеру Вольфганга, чем скромный и тихий Гёттинген.



Давид Гильберт, конец 1920-х годов

Матричная механика

Через много лет после описываемых событий Макс Борн вспоминал: «К концу летнего семестра, в первых числах июля 1925 года, он (Гейзенберг) пришел ко мне с рукописью, предложил прочитать и решить, достаточно ли она ценная, чтобы быть опубликованной. Одновременно он попросил дать ему досрочный отпуск до окончания семестра, так как его пригласили прочитать доклад в Кавендишской лаборатории в Кембридже. К этому он добавил, что, несмотря на интенсивные старания, ему не удалось добиться прогресса в развитии содержащихся в его исследовании размышлений, и он предложил мне самому попробовать это сделать, что я ему обещал» (Born, 1975, стр. 297–298).

Как подчеркивал Борн, он не сразу прочитал статью Гейзенберга, так как устал к концу семестра и избегал дополнительной интеллектуальной нагрузки. Но когда всё же заглянул в текст ассистента, то был восхищен результатами. Он сразу понял и оценил смелую идею Гейзенберга использовать амплитуды переходов в качестве аналогов коэффициентов классического разложения в ряд Фурье. Только в квантовой теории ряды нужно было забыть, а использовать лишь наборы коэффициентов и специальное правило умножения для этих наборов.

О том, что амплитуды переходов должны играть существенную роль в квантовой теории, Борн не раз говорил слушателям своего семинара. То, что сделал Вернер Гейзенберг, Макс Борн оценил как «большой шаг вперед» в реализации этой программы (Born, 1975, стр. 298). Не раздумывая, профессор послал статью своего ассистента в редакцию журнала *Zeitschrift für Physik*. Она вышла в свет с датой поступления в редакцию 29 июля.

► Скромный и щепетильный в вопросах научной этики, Макс Борн никогда не ставил под сомнение приоритет Вернера Гейзенберга в создании квантовой механики. В речи по случаю вручения Нобелевской премии за 1954 год Борн рассказывал о всё возрастающих трудностях, с которыми сталкивались исследователи атомов и спектров, пока Гейзенберг «не разрубил гордиев узел проблем одним философским принципом и не заменил догадку математическим правилом. Этот принцип гласит, что понятия и представления, которые не соответствуют никакой наблюдаемой действительности, не должны использоваться в теоретических описаниях. Гейзенберг отбросил представление об электронных орбитах с определенными радиусами и периодами обращения, так как эти величины не наблюдаемы, и потребовал, чтобы теория строилась с помощью квадратичной схемы» (Rechenberg, 2010, стр. 361).

Борн даже не упомянул при этом, что отмеченный «философский принцип» новой квантовой теории рассматривался им самим еще в 1919 году, когда он профессорствовал во Франкфурте-на-Майне. Бывший в те годы его ассистентом Альфред Ланде, говоря о развитии квантовой механики, позднее вспоминал: «Годами ранее Борн поддерживал тогда еще еретическую идею, что все пространственно-временные механические модели атома не отражают физическую реальность, т. е. не поддерживаются никаким опытом, так как опыт дает информацию только об энергии состояния, частоте и интенсивности, но никогда о мгновенном положении и скорости электронов; мгновенные состояния являются, напротив, принципиально ненаблюдаемыми, и все образы пространственно-временных изменений мгновенных состояний, следовательно, все модельные представления являются ненужными или несогласованными с наблюдениями» (Rechenberg, 2010, стр. 336).

Это утверждение Альфреда Ланде подкрепляется сохранившимся письмом Макса Борна, написанным 21 декабря 1919 года юному Вольфгангу Паули, тогда еще студенту Мюнхенского университета. Паули опубликовал в «Трудах Немецкого физического общества» заметку, в которой критиковал работу ученика Гильберта, цюрихского профессора Германа Вейля о напряженности поля внутри электрона. Паули отмечал, что использование этой физической величины некорректно, так как напряженность определяется по силе воздействия на маленькое «пробное тело», а тела меньше электрона нельзя представить. И Паули подчеркивает ту же мысль, к которой пришел Гейзенберг спустя шесть лет: «Уверенно можно рассуждать только о том, что относится к принципиально наблюдаемым величинам» (Rechenberg, 2010, стр. 336).

В письме своему будущему ассистенту Паули профессор Борн комментирует этот принцип: «Вашу работу в последнем выпуске „Трудов Немецкого физического общества“ о теории Вейля я прочел с громадным интересом. Особенно заинтересовало меня ваше замечание в конце, что вы применение теории континуума к внутренности электрона считаете бессмысленным, так как при этом речь идет о принципиально ненаблюдаемых вещах. Именно эти соображения я уже давно поддерживаю, правда, до сих пор без положительного успеха, позволившего бы найти выход из всех квантовых сложностей, исходя из совершенно принципиальных положений: нельзя переносить понятия пространства и времени как четырехмерного континуума из макроскопического мира ощущений в мир атомный, это требует, очевидно, другого типа числового многообразия в качестве адекватного образа. Но как это можно было бы сделать, я не знаю. Хотя я еще не так стар, всё же не так молод и слишком загружен, чтобы какое-то решение могло прийти мне в голову. Это ваше задание. После всего, что я о вас слышал, именно вы призваны решить эту проблему» (Rechenberg, 2010, стр. 336–337).

Несмотря на высказанное сомнение в своих силах, Макс Борн, став профессором в Гёттингене, продолжал работать в этом направлении вместе со своими учениками-ассистентами. Достижение Гейзенберга явно лежало в русле общего подхода его руководителя к квантовым явлениям, поэтому Борн с энтузиазмом взялся за развитие идей своего ассистента, тем более что он это ему обещал (Born, 1975, стр. 298).

Суть сделанного Гейзенбергом открытия опытный профессор понял сразу. С каждой физической величиной, например координатами частицы **q** и ее импульсом **p**, связаны наборы чисел, аналогичные классическим коэффициентам Фурье. Борн их называет «амплитудами переходов». По словам Борна, смелый шаг Гейзенберга «состоял в предложении вставить амплитуды переходов для координат **q** и импульса **p** в уравне-

ния механики» (Born, 1975, стр. 298). Например, выражение для кинетической энергии частицы включает квадрат импульса **p**². В квантовой теории это надо понимать как умножение набора чисел, соответствующего импульсу, самого на себя. Правило перемножения наборов чисел, предложенное Гейзенбергом, приводило к удовлетворительным физическим результатам для модельного примера ангармонического осциллятора, например, подтверждался закон сохранения энергии, но с математической точки зрения выглядело необычно: выражение **pq** оказывалось не равным выражению **qp**, т. е. величина (**pq**–**qp**) получалась не равной нулю.

Отправив статью Гейзенберга в редакцию, Борн стал размышлять над странным правилом умножения наборов амплитуд перехода, пытаясь понять, какую математическую операцию это правило ему напоминает. В своих воспоминаниях он пишет: «Вскоре я был так этим захвачен, что думал об этом целыми днями, да и ночами почти не мог спать. Ибо у меня было чувство, что за всем этим стоит что-то основополагающее, что долгие годы было целью наших усилий. Однажды утром, примерно 10 июля 1925 года, меня озарило: символическое умножение Гейзенберга было не чем иным, как операцией с матрицами, что мне было известно со времен моего студенчества из лекций Розанеса (Jacob Rosanes) в Бреслау» (Born, 1975, стр. 299).

Осознав главное — что наборы чисел для физических величин, скажем, тех же **p** и **q**, представляют собой математические матрицы, — Борн перестал удивляться тому, что в умножении порядок сомножителей имеет значение — это свойство матриц он хорошо помнил со студенческих времен.



Рихард Курант в Гёттингене, 1920-е годы

В своих работах по теории кристаллических решеток он уже применял матрицы, но об использовании алгебраических операций с матрицами там речи не шло. Матрицы почти не использовались физиками, считались объектами чистой математики (Джеммер, 1985, стр. 206). Математики и развивали матричную алгебру, оказавшуюся такой важной для квантовой механики, при этом выполнили свою работу точно к сроку, словно знали, когда их аппарат потребуется. В конце 1924 года вышел в свет первый том фундаментального исследования Рихарда Куранта и Давида Гильберта «Методы математической физики» (Курант — Гильберт, 1951). В этом томе Курант, опираясь на лекции Гильберта, рассмотрел именно те разделы математики, которые потребовались потом физикам, развивающим квантовую теорию.

В предисловии к первому тому «Методов математической физики» Рихард Курант отмечает, что в подготовке книги ему помогал Паскуаль Йордан. Как позже рассказывал в интервью сам Паскуаль, ему пришлось тогда познакомиться с книгами и статьями по теории матриц, приобретя солидный опыт в этой области математики (Джеммер, 1985, стр. 206).

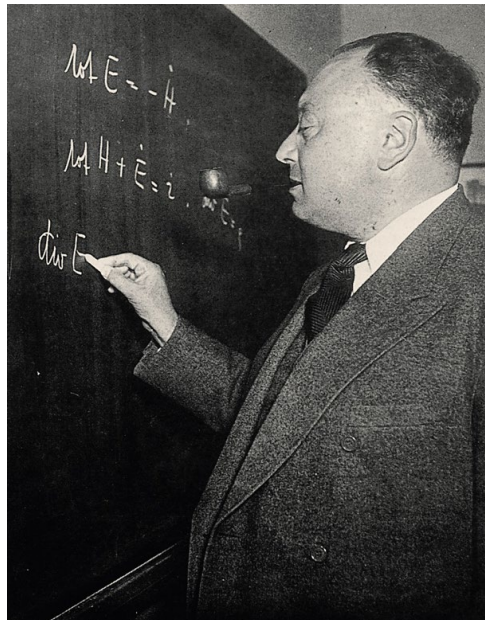
Опыт очень пригодился, когда Борн пригласил Йордана помочь в развитии и упорядочении идей Гейзенберга. Но поначалу своим помощником Борн видел другого человека — своего бывшего ассистента Вольфганга Паули. Казалось бы, Паули, как никто другой, подходил для этой роли: он дружил с Гейзенбергом, был знаком с его новой попыткой прорваться через барьеры старой квантовой физики, кроме того, Паули обладал редким даром справляться с математическими трудностями там, где остальные ученые отступа-

ли. Но вышло всё не так, как планировал Борн. Это выяснилось на конференции физиков Нижней Саксонии, проходившей 19 июля 1925 года. Такие местные конференции, проводимые одним или несколькими соседними университетами, были очень популярны в первой половине XX века. Физик Эрих Багге (Erich Bagge) в интервью Михаэлю Шаафу (Michael Schaaf) вспоминал: «В Физическом обществе больше нет ничего подобного местным конференциям, о чем я очень сожалею. Раньше это были прекрасные собрания. Большие съезды (сегодня) — это огромная хищническая трата времени. Это нехорошо. Местные конференции были много лучше» (Schaaf, 2001, стр. 89).

Поезд из Гёттингена до Ганновера шел примерно час, и за это время, по словам Макса Борна, он смог рассказать Вольфгангу Паули, случайно оказавшемуся в том же купе, свои соображения о матричном характере открытия Гейзенберга и об основных проблемах, которые предстояло решить для того, чтобы аппарат матричной алгебры стал фундаментом квантовой механики. В частности, нужно было доказать, что матрица **pq**–**qp** не зависит от времени, что гарантировало бы сохранение энергии. Макс предложил Вольфгангу совместно поработать над развитием идей Гейзенберга в этом направлении. Вместо ожидаемого согласия Паули ответил довольно грубым отказом с обидным обоснованием: «Я знаю, что вы сторонник этого нудного и сложного формализма. Вы разрушите физические идеи Гейзенберга своей ненужной математикой» (Born, 1975, стр. 300).

В своих воспоминаниях Борн не раз возвращался к этой сцене, оставившей у него крайне неприятный осадок. Его иногда подводит память, он по-разному описывает некоторые детали. Например, в книге «Моя жизнь» он считает, что Паули ехал в Ганновер из Цюриха, хотя профессором в Цюрихе Вольфганг стал только в 1928 году, а в 1925-м еще был ассистентом профессора Ленца в Гамбурге. О поездке в Ганновер Борн пишет: «Многие из гёттингенских физиков ехали туда поездом — это примерно часовая поездка. В поезде мы встречали физиков из других университетов, среди них — моего бывшего ассистента Паули» (Born, 1975, стр. 300).

Ганновер расположен севернее Гёттингена и южнее Гамбурга. Если бы Паули ехал в Ганновер из Цюриха, то встреча в поезде с коллегами-гёттингенцами была бы вполне естественна. Но из Гамбурга в Ганновер редко кто ездит через Гёттинген. Возможно, конечно, что Паули сначала приехал в Гёттинген встретиться с друзьями, а уже потом со всеми поехал в Ганновер. Но более вероятной представляется всё же версия, что разговор Борна с Паули состоялся в самом Ганновере во время местной конференции, а в купе поезда в присутствии Паули Макс говорил о своей работе с другим коллегой.



Вольфганг Паули в Цюрихе, 1953 год.

Расходятся в разных местах описания того, как подключился к матричной механике Паскуаль Йордан, услышавший о новых физических проблемах, волновавших Борна, когда ехал с ним в одном купе в Ганновер. В интервью Паулю Эвальду 1 июня 1960 года Борн рассказывает, что Йордан подошел к нему, выйдя из поезда в Ганновере, и сказал: «Господин профессор, я кое-что знаю о матрицах, не мог бы я вам помочь?» (Born, 1960, стр. 17). Эту версию повторяют многие историки науки, например, Макс Джеммер и Леонид Пономарёв, подчеркивая за чем-то, что Борн и Йордан до того не были знакомы: «На ганноверском вокзале Йордан представился,



Арнольд Зоммерфельд (слева) и Вольфганг Паули, 1930-е годы

рассказал о своем опыте работы с матрицами и выразил готовность помочь Борну в работе» (Джеммер, 1985, стр. 207), «На вокзале в Ганновере Йордан представился Борну и предложил свою помощь» (Пономарёв, 2012, стр. 169).

«Представляться» Йордану не было необходимости — он уже несколько месяцев работал ассистентом Борна, и в Ганновер они ехали с совместным докладом. В книге «Моя жизнь» Борн пишет, что Йордан предложил ему помощь на следующий день после конференции, т. е. уже в Гёттингене: «О конференции в Ганновере у меня в памяти ничего не осталось. На следующий день мой ученик Йордан предложил мне помочь в моей работе. Я был очень, очень уставший и не чувствовал в себе силы одному добиться прогресса. Йордан согласился и уже через два дня принес мне решение проблемы: он показал, что канонические уравнения движения, примененные к матрицам **p** и **q**, приводят к тому, что зависимость от времени матрицы **pq**–**qp** исчезает, следовательно, сама матрица должна быть диагональной» (Born, 1975, стр. 300).

Борн и Йордан показали, что для рассматриваемых матриц справедливо соотношение **pq**–**qp** = (h/2π)i**1**, где h — постоянная Планка, а **1** единичная матрица. Это важнейшее для квантовой механики уравнение обозначали по-разному. Вначале Борн и Йордан называли его «уточненным квантовым условием» (Борн — Йордан-1925, 1977, стр. 597), потом на него ссылались как на «фундаментальное квантовомеханическое соотношение», а затем стали называть «перестановочным соотношением» (Джеммер, 1985, стр. 210).

Вернер Гейзенберг до этого соотношения не додумался, открытие — целиком заслуга Макса Борна. В интервью Томасу Куну, состоявшемуся 15 февраля 1963 года, Гейзенберг открыто признавался: «Я бы хотел отметить, что в моей первой статье по квантовой механике тот факт, что **ху** не равнялось **ух**, был мне страшно неприятен. Я чувствовал, что это было единственной трудностью во всей схеме, и если бы не это, я был бы совершенно счастлив. Но эта трудность меня беспокоила, и я никак не мог ее решить... Я записал в качестве правила квантования правило сумм Томаса — Куна¹, но не понял, что это как раз **pq** минус **qp**» (Heisenberg — V, 1963).

Для Макса Борна, напротив, открытие перестановочного соотношения было одним из самых ярких событий его научной биографии. Он вспоминал: «Я никогда не забуду того глубокого волнения, которое я пережил, когда мне удалось выразить идеи Гейзенберга о квантовых условиях в виде загадочного уравнения **pq**–**qp**=h/2πi, которое является центральным пунктом новой механики и которое заключало в себе, как было установлено позже, соотношение неопределенности» (Борн, 1963, стр. 198).

Окончание см. на стр. 15

¹ В физике есть понятие «Правило сумм Томаса — Райхе — Куна». Сокращенно его иногда пишут «Правило сумм Томаса — Куна». Оно названо по именам трех ученых — Willy Thomas, Fritz Reiche und Werner Kuhn. О нем зашла речь в интервью Гейзенберга Томасу Куну, который ни к Вилли Томасу, ни к Вернеру Куну (физикам) отношения не имеет. Редчайшее совпадение!

Начну со стихотворения английского поэта XIX века Ковентри Патмора «О поцелуе» (перевод С.Я. Маршака).

— Он целовал вас, кажется?
— Боюсь, что это так.
— Но как же вы позволили?
— Ах, он такой чудак.
Он думал, что уснула я
И всё во сне стерплю,
Иль думал, что я думала,
Что думал он: я сплю!

Рассуждения типа «я думаю, что ты думаешь, что она думает...» (и т. д.) в теории игр называются рефлексивными, или рекурсивными, «вложенными». Более строго: рефлексивные игры «описывают взаимодействие субъектов (агентов), принимающих решения на основании иерархии представлений о существующих параметрах, представлений о представлениях и т. д.» [1, с. 2].

Такие «вложенные» рассуждения уникальны для человека, хотя некоторый потенциал есть и у наиболее интеллектуальных животных. На английском можно посмотреть хорошую научно-популярную статью М. Корбаллиса [2].

Обыгрывание рекурсивных рассуждений встречается у Шекспира, в комедийной пьесе Питера Устинова «Романов и Жюльетта» (опубликована в 1956 году, поставлена на Бродвее, экранизирована в 1961-м) и в других текстах. Феномен поп-культуры — песня Максима Леонидова с припевом: «Я оглянулся посмотреть, не оглянулась ли она, чтоб посмотреть, не оглянул-ся ли я».

Рекурсивные рассуждения активно исследуются в психологии, логике, конфликтологии.

Существуют психологические тесты для диагностики рекурсивного мышления и логические задачи на этот тип рассуждений. Это, например, многочисленные задачи о мудрецах с надетыми на них колпаками, соревнующихся, кто первым определит, какого цвета колпак на нем самом, — на основе знания об исходном наборе колпаков, учете того, что на головах у других, и анализа их реакций с рекурсивным пониманием, что они пытаются сделать то же самое. Интересный критический анализ этой задачи дал А.В. Смирнов [5].

Хотя к увеличению ранга рефлексии способны лишь сильные игроки, в теории игр установлено, что при росте этого ранга, т. е. при удлинении цепочки рассуждений «я думаю, что ты думаешь, что я думаю...» есть опасность «перемудрить». Сильный игрок с высоким рангом рефлексии переоценивает противника, предполагая, что у него ранг рефлексии тоже высокий. Но если ранг соперника на самом деле низкий, это приводит к проигрышу данному более слабому противнику [6].

Некоторые рефлексивные игры создаются для формальных или неформальных психологических практикумов. Это:

- игра «Однажды в созвездии Лебеда» И.В. Вачкова на принятие решений при инопланетной встрече — стрелять ли в участника, решающих, стрелять ли в вас, «способствует развитию у участников умения понимать друг друга и эффективно взаимодействовать, вызывает сильные эмоциональные реакции у членов группы, и психологу следует быть к этому готовым» [7];
- настольная игра «Телепат» С.О. Раевского: «каждый игрок тайно отвечает на вопрос; его сосед должен угадать, что он ответил; сосед соседа угадывает, что тот подумал про него, и так по кругу» [8] — и никакая стрельба;
- основанный на идее В.А. Лефевра «Эксперимент для изучения переговоров» [9] и др.

Рефлексивные игры: я думаю, что ты подумал, что она подумала...

Триады участников со сложными отношениями

Особый интерес представляют стратегии рассуждений и поведения при сложных конкурентно-кооперативных отношениях, возникающих, когда участников не меньше трех. Такие ситуации значительно усложняют рассуждения. Здесь надо думать не «просто» о том, что дума-

ет другой (хотя и это непросто), а и о том, что думают несколько других — в том числе о том, как они будут на основе своих размышлений и возможных переговоров взаимодействовать друг с другом в отношении меня, что мне делать, и как они будут реагировать на мои действия.

Приведу пример конкурентно-кооперативных отношений в триаде участников. В одном из рассказов охотника-натуралиста описан драматический случай, когда в местности, где водятся медведи и тигры (и время от времени схватываются друг с другом), его стала манить за собой медведица: вышла, показала, потом медленно пошла, оглядываясь на человека. Так она вывела охотника — врага медведя — на точку, с которой открывался вид на площадку, где тигр —

другой враг — играл с останками убитых им медвежат. Посыл, с точки зрения автора рассказа, был ясен — отомстить, — что он и сделал. Медведица поняла, что один враг убьет другого, увидев его, — и не ошиблась. Не обсуждая здесь степень истинности-вымышленности конкретно этого рассказа, укажем, что легко вообразить другие, вполне реальные ситуации с той же структурой.

Моделируя ситуации такого типа, примерно десять лет назад я разработал соответствующую методику, которую использовал в психологических практикумах и на семинарах для студентов. Я представляю ее ниже. (Более подробное описание с инструкцией участникам, раздаточными листами и результатами дано в [10].)

Игра «Морской бой втроем»

Участники играют в модифицированный «Морской бой», исходная версия которого общеизвестна. Модификация состоит в следующем. Участников (индивидуальных участников или команд) больше — их трое, но игра ведется на меньшем игровом поле с меньшим числом кораблей (иначе тяжело). В практикуме целесообразно провести не менее трех раундов, чтобы участники освоились в новых правилах. Кроме того, важно, что «если рефлексивная игра в нормальной форме повторяется несколько раз, то некоторые (или даже все) агенты могут наблюдать результаты действия оппонентов, значения целевых функций и др.), отличные от ожидаемых, и структура информированности игры меняется» [11].

В соответствии с правилами модифицированной мною игры отношения между участниками организованы по принципу игры «камень, ножницы, бумага» (один участник может нанести ущерб второму, второй — третьему, третий — первому). В игре имеется две таких не-транзитивных триады, и связи в одной триаде противоположно направлены по отношению к связям в другой.

1. Одна триада отношений — непосредственного нанесения урона. Она задана следующим правилом:

- участник А (индивидуальный или команда) может «стрелять» по участнику В (и не может по С),
- участник В может «стрелять» по участнику С (и не может по А),
- участник С может «стрелять» по участнику А (и не может по В).

2. Более сложная триада отношений противоположной направленности — это отношения «разведки», или «информационного взлома». Я как игрок могу узнать важную информацию о стреляющем по мне участнике (информацию о расположении его кораблей). Сама по себе эта информация для меня бесполезна — но я могу поделиться ею с третьим участником, который стреляет по этому стрелку (поделиться информацией с врагом моего врага).

Реализуется эта триада следующим образом:

- участник С может «сходить в разведку» на сторону стреляющего по нему В, посмотреть расположение его кораблей, сфотографировать и, если сочтет нужным, на том или ином ходу подсказывать игроку А клетку того или иного корабля В, чтобы А точнее «стрелял» по «супостату» В, наносящему С непосредственный урон;
- В может «сходить в разведку» на сторону стреляющего по нему А, и если сочтет нужным, на том или ином ходу подсказывать игроку С клетку того или иного корабля А, чтобы С точнее «стрелял» по А, наносящему В непосредственный урон;
- А может «сходить в разведку» на сторону стреляющего по нему С, и если сочтет нужным, на том или ином ходу подсказывать игроку В клетку того или иного корабля С, чтобы В точнее «стрелял» по С, наносящему А непосредственный урон.

Препятствовать «разведке» и фотографированию нельзя.

Схема отношений между участниками А, В, С, задаваемых правилами игры

← направление «стрельбы» и дачи подсказок (А стреляет по В и информирует его о С, В стреляет по С и информирует его об А, С стреляет по А и информирует его о В);

→ направление «разведки», или «информационного взлома» (А «разведывает» информацию о стреляющем по нему С и может передать ее В для корректировки стрельбы по С; С «разведывает» информацию о стреляющем по нему В и может передать ее А; В «разведывает» информацию о стреляющем по нему А и может передать ее С).

Итак, я как игрок имею и «любезного советчика», сообщающего мне координаты стрельбы, и потенциально «убийцу» моего флота в лице одного и того же участника — он объединяет эти две роли. В лице другого участника я одновременно имею и объект моей непосредственной атаки (стрельбы по его флоту), и союзника, способного нанести непосредственный ущерб стрелку по моему флоту (а этот стрелок, напомним, одновременно и советчик для меня).

Такая схема существенно затрудняет участникам просчет ситуаций с точки зрения возможных действий других игроков, которые также пытаются сделать свои расчеты — и это должно быть учтено участником, делающим свой расчет. Таким образом, игра относится к классу рефлексивных. На разных этапах игры от участников требуется выстраивать сложные стратегии кооперации и конкуренции.

Так, с одной стороны, игроку выгодно воспользоваться предоставленной ему информацией, чтобы точнее стрелять по противнику, по которому он только и может стрелять. Значит, нужно кооперироваться с третьим игроком, который дает эту информацию. А у того свои цели, в том числе — «чужими руками» избавиться от того, кто по нему стреляет.

С другой стороны, тот, кто использует информацию, должен понимать, что если он, будучи хорошо проинформированным третьей стороной, полностью ликвидирует флот другого участника (по которому он может стрелять), то произойдет следующее. Третий участник (бывший советчик), по которому теперь стрелять станет некому (по нему стрелял ликвидированный второй), теперь имеет возможность ничего больше не советуя и без какого-либо возможного сопротивления ликвидировать первого, которому до этого сообщал информацию и который поторопился ею воспользоваться. Значит, хотя бы один корабль из флота, по которому я стреляю, надо оставить — пока есть противник, стреляющий по мне. (Здесь работает правило, сформулированное для кон-

курирующих биологических сообществ и выходящее на философский уровень обобщения: «Не уничтожай полностью своего противника — возможно, он кормится кем-то, кто после его гибели плотно займется тобой».)

Это означает, что если у противника, по которому я стреляю, радикально уменьшилось число кораблей, надо перестать кооперироваться с третьим игроком — «советчиком». Надо попытаться вступить в альянс с участником, по которому я стреляю. Например, надо начать стрелять мимо при атаке его поля и убедить его, сделать для него выгодным использование предоставляемой мною информации о третьем участнике. Цель — чтобы бывший объект моих атак стал временным союзником и точнее стрелял по участнику, стреляющему по мне (чьи функции советчика отходят здесь на задний план). Эта изменение воспринимаемой роли другого может происходить многократно по ходу игры у каждого из участников.

В результате по ходу игры участники нередко прибегают к сложному маневрированию и меняют стратегии: начинают сообщать информацию определенного типа (например, не о том, какие клетки заняты, а о том, какие пусты), давать ложную информацию, намеренно стрелять мимо, вступать во временные альянсы и разрушать их и т. д. (Правилами допускаются любые переговоры и обсуждения, и все участники могут их слышать.)

Проигравшей в раунде считается команда, у которой выбиты все корабли, после этого раунда прекращается. Первое и второе место в раунде делятся между двумя оставшимися командами на основе подсчета оставшихся у них кораблей. Общий итог по всем раундам определяется по числу побед в них: команда, у которой побед больше, получает I место; у которой меньше — II; у которой еще меньше — III; при равенстве — ничья.

Вместо заключения

Позвольте мне завершить эту статью причудливым диалогом, процитированным Мартином Гарднером [12]. Гарднер приводит фрагмент упомянутой выше комедийной пьесы Устинова, в котором глава вымышленного европейского государства (Генерал) маневрирует между послами двух других стран (назовем их П1 и П2).

В первом посольстве.

Генерал (обращается к П1). Кстати, вы знаете, что они знают ваш шифр?

П1. Мы знаем, что они знают наш шифр, но сообщаем им только то, что хотим, чтобы они знали.

Генерал отправляется во второе посольство.

Генерал (обращается к П2). Кстати, они знают ваш шифр?

П2. Меня это ничуть не удивляет. Мы уже в течение некоторого времени знаем, что они знают наш шифр, и ведем себя соответствующим образом — делаем вид, будто им удалось нас одурачить.

Генерал возвращается в первое посольство.

Генерал (обращается к П1). Кстати, вы знаете, что они знают, что вы знаете, что они знают, что вы знаете...

П1 (искренне встревожен). Что? Вы уверены?

Генерал. Абсолютно.

П1. Благодарю вас! Благодаря! Я никогда не забуду об услуге, которую вы мне оказали.

Генерал (поражен). Вы хотите сказать, что ничего не знали? П1. Нет!

Александр Поддьяков, докт. психол. наук

- Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Рефлексивные игры. — М.: СИНТЕГ, 2003.
- Corballis M.C. The uniqueness of human recursive thinking // American scientist. 2007. № 3. americanscientist.org/article/the-uniqueness-of-human-recursive-thinking
- Лефевр В.А. Конфликтующие структуры. — М.: Советское радио, 1973.
- Corballis M.C. The recursive mind: the origins of human language, thought, and civilization. — Princeton University Press, 2014.
- Смирнов А.В. Задача о мудрецах и колпаках. fmsh2007.ru/index.php?id=281
- Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов. — М.: Радио и связь, 1989.
- Вачков И.В. Однажды в созвездии Лебеда // Школьный психолог. 2002. № 15. С. 16. psy1sept.ru/article.php?ID=200201514
- labirint.ru/games/671239
- Хасан Б.И., Сергоманов П.А. Разрешение конфликтов и ведение переговоров. — Красноярск, Москва, 2001.
- Поддьяков А.Н. Рефлексивная игра с циклами конкурентно-кооперативных взаимодействий как часть психологического практикума // Вопросы психологии. 2019. № 5. researchgate.net/publication/338083171
- Чхартишвили А.Г. Рефлексивные игры: трансформация структуры информированности // Проблемы управления. 2008. № 5. С. 43–48.
- Гарднер М. От мозаик Пенроуза к надежным шифрам. — М.: Мир, 1993.

Окончание. Начало см. на стр. 12–13

Выражение **pq-qp** оказалось столь важным для новой теории и так тесно связанным с фамилией Йордана, особенно из-за близкого звучания **pq** с именем Паскуаль (Pasqual), что остроумный Вольфганг Паули писал однажды на почтовой открытке в графе «адресат»: «**pq-qp** Йордан» (Ehler — Schücking, 2002, стр. 71).

Перестановочное соотношение играло столь важную роль в научной судьбе Макса Борна, что оно было выбито на надгробном памятнике на могиле ученого в Гёттингене.

На основании полученных результатов Борн и Йордан очень быстро подготовили статью под названием «О квантовой механике», которая поступила в журнал *Zeitschrift für Physik* 27 сентября 1925 года, всего через два месяца после статьи Гейзенберга.

В начале статьи авторы подчеркнули огромное значение нового подхода к квантовой теории, предложенного Гейзенбергом. Свою задачу Борн и Йордан видели в развитии его предположений до систематической теории квантовой механики, математическим аппаратом которой является матричное исчисление. Результаты работы показали, что «действительно можно на фундаменте, данном Гейзенбергом, возвести здание замкнутой математической теории квантовой механики, в замечательно тесной аналогии с классической механикой, однако при сохранении черт, характерных для квантовых явлений» (Борн — Йордан-1925, 1977, стр. 587).

Рукопись этой статьи Борн послал в Мюнхен Гейзенбергу, где тот всё еще наслаждался летними каникулами. Прогресс в развитии его собственной работы порадовал Вернера, но и слегка озадачил: он ничего не знал до того о матрицах, которые, оказывается, играют такую важную роль в его теории. В уже упомянутом интервью 15 февраля 1963 года он честно дает оценку своим знаниям: «Я никогда не слушал лекций по матрицам; конечно, я знал, как решить линейные уравнения тривиальным способом, как учат в школе, но общую схему, что имеются матрицы и что матрицы можно перемножать, и что матрицы могут представлять группы, и все такие вещи я просто никогда не изучал. Так что когда Борн рассказал мне, что это, действительно, был пример матричного умножения, то я очень заинтересовался, но это было ново для меня» (Heisenberg-V, 1963).

Гейзенбергу пришлось срочно изучить новую для него область математики, что он сделал относительно быстро и эффективно, так что уже через несколько недель был готов включиться в совместную работу с Борном и Йорданом. О подготовленности Гейзенберга в области матричного исчисления Борн высказался так: «Сегодня все без исключения учебники говорят о матрицах Гейзенберга, гейзенберговском перестановочном соотношении и о дираковском квантовании поля. Но в действительности

к этому времени Гейзенберг знал очень мало о матрицах, и он должен был сперва их изучить, что он и сделал с невероятной сообразительностью и эффективностью» (Borh, 1975, стр. 301).

После такого экспресс-обучения Гейзенберга совместная работа велась по переписке невероятно интенсивно, как вспоминал потом Борн, «каждый день два письма, туда и обратно» (Borh, 1960). И вскоре была готова третья статья по квантовой механике — та самая знаменитая «Работа трех», после которой эта наука приобрела современный вид (Borh — Heisenberg — Jordan, 1926). Статья поступила в редакцию *Zeitschrift für Physik* 16 ноября 1925 года, а увидела свет в августе следующего года.

Как часто бывает в жизни, награды за гениальное открытие получили не все причастные. За создание квантовой механики из авторов основополагающей «Работы трех» Нобелевскую премию получил только Вернер Гейзенберг — в 1933 году его назвали лауреатом за предыдущий год.

Вклад Макса Борна, который руководил всеми работами в Гёттингене и предложил несколько основополагающих идей, остался как бы незамеченным Нобелевским комитетом. Это хорошо понимал и сам новоиспеченный нобелевский лауреат Гейзенберг. В письме из Цюриха 25 ноября 1933 года он признавался: «Дорогой господин Борн, если я вам так долго не писал и не поблагодарил за ваши поздравления, то это отчасти из-за моей нечистой совести перед вами. Тот факт, что я один должен получить Нобелевскую премию за работу, которую мы тогда в Гёттингене вместе — вы, Йордан и я — сделали, это беспокоит меня, и я не знаю, что я должен написать. Я, естественно, рад тому, что наши общие усилия теперь признаны, и я с радостью вспоминаю прекрасное время совместной работы. Я также думаю, что все хорошие физики знают, как высок был ваш с Йорданом вклад в построение квантовой механики — и это не изменит никакое неверное внешнее решение. Но я сам, собственно, не могу ничего больше сделать, как еще раз поблагодарить вас за прекрасную совместную работу, и признать, что мне перед вами немного стыдно» (Borh, 1975, стр. 303).

Показательны время и место отправки письма. В ноябре 1933 года Макса Борна уже не было в Гёттингене. После печально известного закона «О восстановлении профессионального чиновничества» от 7 апреля того же года Борн был отправлен в бессрочный отпуск и покинул Германию. После прихода Гитлера к власти осторожный Гейзенберг не рисковал писать еврею в стране, где почту, весьма вероятно, просматривает гестапо. Поэтому он дождался, когда окажется в безопасной Швейцарии, чтобы оттуда послать письмо в Англию, куда переехал его бывший руководитель.

Нобелевскую премию Макс Борн получил только в конце своей научной деятельности — в 1954 году — с формулировкой «за фундаментальные исследования по квантовой механике, в особенности за статистическую интерпретацию волновой функции».

Паскуаль Йордан вообще остался обойденным Нобелевским комитетом. Возможно, в этом сыграло роль членство Йордана в национал-социалистической партии в 1933–1945 годах, хотя убежденным нацистом он никогда не был, да и каких-либо карьерных преимуществ партийность ему не принесла.

Заметка основана на материалах, вошедших в книгу «Альберт Эйнштейн и „революция вундеркиндов“»

Литература

Айзексон Уолтер. Альберт Эйнштейн. Его жизнь и его Вселенная. М.: АСТ, 2016.

Carretero Juan Antonio Caballero. Танец электронов. Паули. Спин. Наука. Величайшие теории: вып. 48. Пер. с итал. М.: Де Агостини, 2015.

Born Max. Mein Leben. Die Erinnerungen des Nobelpreisträgers. München: Nymphenburger Verlagshandlung, 1975.

Einstein — Born. Albert Einstein — Hedwig und Max Born. Briefwechsel 1916–1955. München: Nymphenburger Verlagshandlung, 1969.

Гейзенберг Вернер. Физика и философия. Часть и целое. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1989.

Meyenn Karl von. Jordan, Pauli und ihre frühe Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Quantenstrahlung. Preprint 328. Pascual Jordan (1902–1980). Mainzer Symposium zum 100. Geburtstag, S. 37–46. München: Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, 2007.

Rechenberg Helmut. Werner Heisenberg — die Sprache der Atome. Gedruckt in zwei Bänder. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010.

Джеммер Макс. Эволюция понятий квантовой механики. Пер. с англ. В.Н. Покровского. Под ред. Л.И. Пономарёва. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1985.

Курант — Гильберт. Курант Р., Гильберт Д. Методы математической физики, т. 1, 3-е изд. М.-Л.: ГИТТЛ, 1951.

Schaaf Michael. Heisenberg, Hitler und die Bombe. Gespräche mit Zeitzeugen. Berlin, Diepholz: Verlag



Король Швеции Густав V вручает Вернеру Гейзенбергу Нобелевскую премию за 1932 год. Декабрь 1933 года

für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, 2001.

Born Max. American Institute of Physics. Oral History Interviews. Max Born — Session 1. Interviewed by Peter Paul Ewald. 1 Juni 1960 г. aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4522-1.

Пономарев Л.И. Под знаком кванта. М.: Физматлит, 2012.

Борн — Йордан 1925. Борн, Макс; Йордан, Паскуаль. О квантовой механике. Успехи физических наук, т. 122, с. 586–611. 1977.

Heisenberg Werner. American Institute of Physics. Oral History Interviews. Werner Heisenberg — Session V. Interviewed by Thomas S. Kuhn. (В Интернете) 15 February 1963. aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4661-5.

Борн Макс. Физика и метафизика. Физика в жизни моего поколения. Сборник статей, с. 189–207. М.: Издательство иностранной литературы, 1963.

Ehler — Schücking. Ehlers, Jürgen; Schücking, Engelbert. «Aber Jordan war der Erste». Zur Erinnerung an Pasqual Jordan (1902–1980) // Physik Journal, Nr.11, S. 71–74. 2002.

Born — Heisenberg — Jordan. Born Max; Heisenberg Werner; Jordan Pasqual. Zur Quantenmechanik II. Zeitschrift für Physik, v. 35, S. 567–615. 1926.

НОВОСТИ НАУКИ

Кроме надежного датирования мест поселения *Homo heidelbergensis*, впервые удалось найти инструменты нового типа — скребки. Доктор Томос Профит из Института эволюционной антропологии Общества Макса Планка, который анализировал артефакты, заявил: «Палеолитические скребки часто ассоциируются с обработкой шкур животных. Таким образом, обнаружение этих артефактов может свидетельствовать о том, что люди в это время обрабатывали шкуры животных, возможно, используя их в качестве одежды или утепляя ими свои жилища. Разнообразие каменных орудий, не только тех, что пришли к нам из первоначальных находок, но и полученные в результате новых раскопок, позволяет предположить, что гоминины, жившие на той территории, которая в будущем должна была стать территорией Британии, по-настоящему процветали, а не просто выжили из последних сил».

М. Б.

Ручной топор. Изображение: Museum of Archaeology and Anthropology, Cambridge



Кафедра археологии Кембриджского университета. Илл. Габриэля Угера

Художественная реконструкция *Homo heidelbergensis*, делающего кремневый топор

Археологи из Кембриджского университета проводили раскопки на окраине Кентербери — древнего городка на юго-востоке Англии в графстве Кент — спустя столетие после того, как в этих местах впервые были обнаружены каменные орудия. Их исследования подтвердили, что человек гейдельбергский, один из предшественников сапиенсов и неандертальцев, заселил южную часть Британии в тот период, когда она была соединена с Европой сухопутным мостом. Помимо всего прочего, удалось проследить и за некоторыми первыми попытками обработки шкур животных в Европе.

Описываемый участок, который находится рядом с древним руслом реки, попал изначально в поле зрения ученых в 1920-е годы, когда местные рабочие раскопали здесь ручные топоры и рубила, большинство из которых сейчас хранится в Британском музее. Однако достаточно надежно возраст их тогда определить не удалось, это сделали лишь с применением современных методов датирования в ходе новых раскопок. Причем в ходе новой экс-

педиции не только датировали первоначальное место ранее найденной стоянки, но и нашли новые кремневые артефакты, в том числе самые первые скребки для шкур.

Возраст каменных орудий определили с помощью метода инфракрасной радиофлуоресценции — так можно устанавливать время, когда песчинки полевого шпата в последний раз подвергались воздействию солнечного света, — то есть момент их захоронения. Всё указывает на то, что ранние люди посещали Британию уже 840, а возможно, даже 950 тыс. лет назад, но самые ранние визиты были сравнительно недолгими — холодные ледниковые периоды неоднократно вытесняли наших предшественников из Северной Европы. Свидетельства же повторной колонизации Британии в теплый период 560–620 тыс. лет назад до сих пор оставались довольно ненадежными.



Кентерберийский *Homo heidelbergensis*

Предшественники людей появились на юге нынешних Британских островов 560–620 тыс. лет назад. Об этом свидетельствуют археологические находки, сделанные британскими исследователями на берегу Ла-Манша. Их статья опубликована в журнале *Royal Society Open Science*¹.

¹ royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.211904; cam.ac.uk/stories/canterbury-suburbs-home-to-early-humans

Чтобы ответить на эти вопросы, мы с коллегами, и прежде всего с моим соавтором, биологом и аналитиком данных **Александром Ершовым**, провели статистический анализ исходов заболеваний COVID-19 среди вакцинированных или не вакцинированных москвичей [1]. База данных, которую мы получили для анализа, включала в себя более трех сот тысяч случаев заболевания COVID-19. Все случаи были разбиты на категории в зависимости от статуса вакцинации и типа вакцины. Кроме того, в базе данных содержалась информация о возрасте заболевших, тяжести заболевания и смертельных исходах, если таковые случались.

Наша работа — это результат огромных усилий не столько авторов, сколько команды коллег-волонтеров из России, а также представителей русскоязычной научной диаспоры за рубежом. Наконец-то препринт с результатами нашего анализа, появившийся в Сети в январе этого года, стал полноценной научной публикацией в журнале *Vaccines* [1] и сейчас находится в открытом доступе.

Анализ, проведенный нашим коллективом, выявил высокую защитную эффективность одной из российских вакцин и полную бесполезность (или даже вредность) другой. Речь идет о том, что «Спутник V» спасал людей, как от тяжелой формы заболевания, так и от смерти, в то время как «ЭпиВакКорона», наоборот, этого совсем не делала. Так, в группе вакцинированных «ЭпиВакКороной» умерших или тяжело заболевших COVID-19 было даже больше, чем среди невакцинированных. Таким образом, у «ЭпиВакКороны» выявилась отрицательная эпидемиологическая эффективность. К такого же рода выводам пришли и авторы другой научной работы, опубликованной в виде препринта, также, как и нашей, еще в январе этого года [2].

Один из самых главных и интригующих научных вопросов: почему у «ЭпиВакКороны» (она же «АВРОРА-КоВ») не просто нулевая, но даже отрицательная эффективность, особенно в старшей возрастной группе, где отрицательные значения сопровождаются статистической значимостью? Мы объясняем это странное явление мощной рекламой, которую получала эта вакцина в почти ежедневных публикациях государственных СМИ, а также в программах радио и телевидения. Похоже, что у разработчиков вакцины — предприятия «Вектор» и Роспотребнадзора — было колоссальное финансирование, выделенное на ПР. Вакцина позиционировалась как очень мягкая и совсем не



Ольга Матвеева, молекулярный биолог

Как работали российские вакцины? Спасали ли они от смерти при заболевании тяжелой формой COVID-19? Насколько эффективно они спасали? Ответы на эти вопросы важно получить даже после того как пандемия несколько ослабила свою хватку и COVID-19 временно (или постоянно) ушел в подполье. Необходимо знать, как проявили себя вакцины в период доминирования таких опасных штаммов, как дельта. Ведь, увы, но этот вирусный вариант, хоть и маловероятно, но может вернуться.

имеющая побочных эффектов. В результате, скорее всего, именно люди с хроническими болезнями и серьезными проблемами со здоровьем чаще выбирали этот препарат. Это привело к тому, что выборки вакцинированных и невакцинированных стали разными по составу. В группе вакцинированных «ЭпиВакКороной» накопилось гораздо больше людей из группы риска. Как результат: тяжелые формы заболеваний и смерти происходили в этой группе чаще, чем в контрольной.

Можно, конечно, попытаться объяснить отрицательную эффективность «ЭпиВакКороны» и биологическими факторами, которые связаны с молекулярным составом этого вакцинного препарата. Мы приводим такое объяснение в публикации, но я считаю, что наша гипотеза связана с крайне маловероятным сценарием, и за подробностями отсылаю читателей этой заметки к секции «Обсуждение» в нашей статье.

Хотелось бы отметить, что наша научная публикация стала результатом не только усилий непосредственных авторов работы, но и результатом скоординированной помощи многих других коллег и специалистов в разных областях. Я бы назвала эту огромную неформальную помощь успехом функционирования гражданского общества в России.

На проект не было выделено никакого финансирования — ни государственного, ни частного, но он состоялся. Кроме того, работа над проектом, с одной стороны, была сопряжена с огромным энтузиазмом помогающих волонтеров, а с другой — с профессиональным риском.

Среди добровольцев, внесших в нашу научную работу особую ценный вклад, оказались молекулярные биологи, вирусологи, иммунологи, врачи, популяризаторы науки и специалисты по медицинской информатике. Многие из них получали угрозы увольнения от государственных и частных работодателей, если их расследовательская деятельность препарата «ЭпиВакКороны» становилась публичной. Любая попытка общения с журналистами с критикой вакцины была сопряжена с серьезным риском потерять работу в научном или медицинском учреждении. Однако энтузиазм и желание делиться правдой победили. Так или иначе, истина о неработоспособности «ЭпиВакКороны» в контрасте с работоспособностью «Спутника V» стала общественным достоянием, как в форме журналистских расследований, так и в форме научных публикаций, таких, как наша.

Многие меня спрашивают: а как же «Ковивак», ведь он был суперпопулярен? Увы, в нашей базе данных об иммунизированных этой вакциной было крайне мало. Поэтому сравнить число заболевших среди вакцинированных и невакцинированных и при этом получить статистически значимые результаты было невозможно. Однако комментируя этот вопрос, я всегда добавляю, что вакцины такого типа, которые называются инактивированными-цельновирионными, против SARS-CoV-2 в целом оказались гораздо менее эффективными по сравнению с вакцинами, основанными на других платформах. Так что, предположительно, на основании анализа международного опыта похожих вакцинных платформ, «Ковивак», скорее всего, был гораздо менее эффективен по сравнению со «Спутником».

Данные о заболевших и умерших от COVID-19 в июне и июле прошлого года нам предоставил работник Московского департамента здравоохранения, пожелавший остаться

анонимным. Мы долго боролись за прозрачность данных и, в результате, отчасти победив, получили большую базу данных для нашей аналитической работы.

Какие самые главные выводы, которые мы сделали, исходя из нашего анализа данных? Наши выводы могут показаться читателям тривиальными, но, тем не менее, я считаю, что их надо озвучить.

1) Вакцины надо проверять по их способности защитить от заболевания не только на животных, но в клинических испытаниях с участием людей. Для «ЭпиВакКороны», впрочем, как для «Ковивака», таких испытаний до широкого внедрения вакцин в практику проведено не было. В США и в Западной Европе испытания эпидемиологической эффективности вакцины (по способности вакцины защищать от заболевания) называются испытаниями третьей фазы, а в России они называются пострегистрационными. Как бы они ни назывались, перепрыгивать их нельзя, даже если очень хочется.

2) Административный ресурс, увы, может способствовать тому, что к людям попадают неэффективные вакцины.

3) Гражданское общество в России способно успешно выполнять функции контроля качества вакцин. Однако из этого вывода не следует то, что с разработчика и с государственных органов, контролирующих медицинские препараты, эти функции следует снять и полностью доверить их волонтерам.

Мы опубликовали довольно обширный список благодарностей всем, кто внес особую ценную вклад в нашу работу в конце нашей научной статьи. В том числе мы выразили благодарность за предоставление дискуссионных площадок научно-популярным изданиям, таким как «Биомолекула» и *ТрВ-Наука*. Кроме того, наша работа стала бы невозможной без научных площадок, организованных в социальных сетях. Все эти площадки стали полезными форумами для организации работы волонтеров, специалистов, а также регулярного обсуждения и критической оценки результатов наших исследований.

Бесценную помощь нам оказали три человека с огромными организаторскими способностями, а именно **Макс Попов, Андрей Крицкий и Алексей Куприянов**. Макс Попов создал социальную информационную сеть, посвященную прививочной кампании, под названием «Проект V1V2.ru, чат-системы о прививках». Андрей Крицкий стал создателем и администратором чата в Telegram, а также организовал группу гражданской вакцинации COVID-19 *Grais epivakorona.com*. Алексей Куприянов создал и неумолимо модерировал группу аналитики и графической информации, связанной с заболеваемостью в России коронавирусной инфекцией, *COVID-19 Watch*. Все формы дискуссий не просто ускорили, но и сделали возможным в принципе наш анализ данных и публикацию его результатов.

Итак, мы подвели итоги и независимо от разработчиков проверили эффективности двух вакцин. Меня многие спрашивают: а что дальше? Как часто нам нужно будет вакцинироваться в будущем? Когда будет следующая волна заболевания и будет ли она?

Я думаю, что в ближайшие несколько месяцев такой сильной волны инфекций, как в прошлом году не будет. Однако менее сильные волны тоже могут быть весьма неприятными, унося как жизни, так и здоровье. Поэтому мне кажется, что дополнительные иммунизации могли бы уменьшить шанс неприятных последствий от встречи с коронавирусной инфекцией.

Могу поделиться рекомендациями, распространенными в США. Американский центр по контролю заболеваемости рекомендует буст (дополнительную иммунизацию) большинству людей (всем, кому старше пяти лет), по крайней мере, через пять месяцев после последней дозы первичной вакцинации. Людям с умеренно или сильно ослабленным иммунитетом рекомендуется ревакцинироваться не менее чем через три месяца после введения последней дозы первичной иммунизации. Вторая дополнительная иммунизация (буст) рекомендуется взрослым, которые старше 50 лет, и всем, кто старше 12 лет, но страдает от иммуносупрессии, не менее чем через четыре месяца после первого буста.

Резюмируя, хочется сказать, что вакцины работают, они могут спасать жизни. Увы, иногда создаются и фальшивые или плохоработающие вакцины, и для того, чтобы отличить первые от вторых, нужны усилия многих специалистов и прозрачность данных.

1. Matveeva O., Ershov A. Retrospective Cohort Study of the Effectiveness of the Sputnik V and EpiVacCorona Vaccines against the SARS-CoV-2 Delta Variant in Moscow (June–July 2021) // *Vaccines*, Vol 10 No 7, 984, June 21 2022. [mdpi.com/2076-393X/10/7/984](https://doi.org/10.3390/v10070984)

2. Barchuk A., Bulina A., Cherkashin M. et al. A. COVID-19 vaccines effectiveness against symptomatic SARS-CoV-2 Delta variant infection: a population-based case-control study in St. Petersburg, Russia // *medRxiv* 2022. DOI: 10.1101/2022.01.24.22269714

ИНФОРМАЦИЯ

Помощь газете «Троицкий вариант — Наука»

Дорогие читатели!

Мы просим вас при возможности поддержать «Троицкий вариант» необременительным пожертвованием. Почти весь тираж газеты распространяется бесплатно, электронная версия газеты находится в свободном доступе, поэтому мы считаем себя вправе обратиться к вам с такой просьбой. Для вашего удобства сделан новый интерфейс, позволяющий перечислять деньги с банковской карты, мобильного телефона и т. п. (trv-science.ru/vmeste).

«Троицкий вариант — Наука» — газета, созданная без малейшего участия государства или крупного бизнеса. Она создавалась энтузиастами практически без начального капитала и впоследствии получила поддержку фонда «Династия». Аудитория «Троицкого варианта», может быть, и невелика — десятки тысяч читателей, — но это, пожалуй, наилучшая аудитория, какую можно вообразить. Газету в ее электронном виде читают на всех континентах — везде, где есть образованные люди, говорящие на русском языке. Газета имеет обширный список резонансных публикаций и заметный «иконостас» наград.

«Троицкий вариант» в значительной степени выживает на энтузиазме коллектива. Каждый, кто поддержит газету, даст ей дополнительную опору, а тем, кто непосредственно делает газету, — дополнительное моральное и материальное поощрение.

Редакция



«Троицкий вариант»

Учредитель — ООО «Тривант»

Главный редактор — Б. Е. Штерн

Зам. главного редактора — Илья Мирмов, Михаил Гельфанд

Выпускающие редакторы — Максим Борисов и Борис Штерн

Редакционный совет: Юрий Баевский, Максим Борисов, Алексей Иванов,

Андрей Калинин, Алексей Огнёв, Андрей Цатурян

Верстка — Глеб Позднев. Корректур — Максим Борисов

Адрес редакции и издательства: 142191, г. Москва, г. Троицк., м-н «В», д. 52;

телефон: +7 910 432 3200 (с 10 до 18), e-mail: info@trv-science.ru, интернет-сайт: trv-science.ru.

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

Газета зарегистрирована 19.09.2008 в Московском территориальном управлении Министерства РФ по делам печати,

телеграфного вещания и средств массовых коммуникаций ПИ № ФС77-33719.

Тираж 2000 экз. Подписано в печать 27.06.2022, по графику 16:00, фактически — 16:00.

Отпечатано в типографии ООО «ВМГ-Принт». 127247, г. Москва, Дмитровское шоссе, д. 100.

Заказ №

© «Троицкий вариант»